科技考古和科学史

中国古代玻璃技术发展史

干福熹 等 著





上海科学技术出版社







中国古代玻璃技术发展史

责任编辑　高军晓　楼玲玲
封面设计　赵　军



上架建议：中国文物考古·硅酸盐工业
ISBN 978-7-5478-2859-5





本书由上海文化发展基金会图书出版专项基金资助出版

定价：398.00元
易文网：www.ewen.co

科技考古和科学史

中国古代玻璃技术发展史

干福熹 等 著

上海科学技术出版社

内容提要

玻璃是人类最早发明的人造材料之一。中国古代玻璃的起源和发展，对中国古代文化和技术的发展，起了非常重要的作用。本书首次系统阐述了中国古代玻璃技术发展史；介绍了作者对中国古代玻璃成分进行的科学、系统研究；反映了对中国古代玻璃的起源、体系、制造年代和制备工艺等的深入研究；还系统研究了中国早期玻璃的演变及与西方古代玻璃的对比，独创性地反映了中外在古代玻璃技术发展等方面的联系和交流。

本书作为玻璃界、考古界和物化分析界多年来合作研究的结晶，充分反映了中国古代玻璃的研究进展和发展水平。本书可供相关领域学者及热爱、研究古代玻璃技术发展史的人士学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国古代玻璃技术发展史 / 干福熹等著.—上海：上海科学技术出版社，2016.1
(科技考古和科学史)
ISBN 978-7-5478-2859-5

Ⅰ.①中… Ⅱ.①干… Ⅲ.①玻璃-研究-中国-古代 Ⅳ.①K876.54

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第259853号

中国古代玻璃技术发展史
干福熹　等　著

上海世纪出版股份有限公司
上 海 科 学 技 术 出 版 社 出版
(上海钦州南路71号　邮政编码200235)
上海世纪出版股份有限公司发行中心发行
200001　上海福建中路193号　www.ewen.co
上海中华商务联合印刷有限公司印刷
开本 787×1092　1/16　印张 22.5　插页4
字数 500千字
2016年1月第1版　2016年1月第1次印刷
ISBN 978-7-5478-2859-5/TQ · 8
定价：398.00元

作 者 名 单

第1~7、17~18章	**干福熹**	中国科学院院士 中国科学院上海光学精密机械研究所，研究员 复旦大学，教授
第4章	**赵虹霞**	中国科学院上海光学精密机械研究所，博士、副研究员
	胥真奇	中国科学院上海光学精密机械研究所，工学硕士
第5、16章	**董俊卿**	中国科学院上海光学精密机械研究所，历史学硕士
第5、9章	**后德俊**	湖北省博物馆、湖北省文物考古研究所，研究员
第8、11章	**黄振发**	中国科学院上海光学精密机械研究所，副编审
第10章	**安家瑶**	中国社会科学院考古研究所，研究员
第12章	**张维用**	别署冰花楼主，高级工艺美术师
第13章	**张　平**	新疆文物考古研究所，研究员
第14章	**黄启善**	广西壮族自治区博物馆，研究员
第15章	**李家治**	中国科学院上海硅酸盐研究所，国际陶瓷科学院院士、研究员
	吴　隽	景德镇陶瓷学院，教授
第16章、附录	**刘　松**	中国科学院上海光学精密机械研究所，博士、副研究员
第16章	**夏晓伟**	江苏省鸿山遗址博物馆，副研究馆员
	李青会	中国科学院上海光学精密机械研究所，博士、研究员

丛 书 序

中华民族5 000多年的灿烂文明曾创造并留存下来大量弥足珍贵的文化遗产。文化遗产特别是物质文化遗产是中华文明形成、发展与辉煌的历史见证，也是人类文明的瑰宝。根据第三次全国文物普查，中国已登记的不可移动文物达76万多处；43处世界遗产，包括文化遗产30处、自然遗产13处。全国馆藏文物共计近3千万件（套），其中一级文物超过6万件。随着考古发掘工作的不断发展，每年还陆续出土1万余件珍贵文物。

中国虽然是物质文化遗产大国，却并不是物质文化遗产研究的强国。现代意义上的文物考古和保护工作，在中国始于20世纪20年代，不仅起步较晚，而且相关从业人员对现代科学技术在该领域研究应用的重要性的认识明显不足，整体的科学理念也较薄弱，对中国物质文化遗产的科学认知不足和在考古以及该领域科学保护的整体水平相对落后。这就需要我们去积极弘扬和推动中国的科技考古。

中国的科技考古学始于20世纪初，从最初仅凭文献和文物的铭文记述的金石学，发展到主动去野外发掘文物，凭眼学观察和对文物的宏观物理性质测量，用层位学和类型学来识别文物的材质、工艺、年代和溯源。这在当时称为现代考古学，而今已成为传统的考古学。现在人们对文物的保护仅仅是物质属性的保护，即延长文物本身的寿命，然而对非物质属性文物的价值进行保护也是十分必要的。挖掘和保护文物所拥有的历史、艺术和科学价值，以及经济、社会、文化的衍生价值，需要推动科技考古的发展。

20世纪下半叶，越来越多的近代科学技术方法开始被应用于文物的认知和考古，如通过碳-14同位素、热释光等测年代；用分子生物学方法及色谱与质谱方法研究古代动植物和古代有机材料，如丝绸和纸张等；用X射线荧光光谱、红外和激光拉曼光谱等分析文物材质；用同位素质谱和其他微量元素分析文物产地等。文物是不可再生的，无损分析方法使得以科学的方法分析、鉴定完整的文物成为可能，并因此得到了很大的发展。近10年来原位无损分析方法的出现，使珍贵的或大型不可移动的文物有了被分析和检测的可能。

中国是历史悠久的文明古国，大量出土文物反映和记录了中国古人和现代人的科学技术活动，这些对了解科学技术的发展十分重要。至今已有数本有关中国科学技术史

的巨著出版，其中包括英国著名学者李约瑟（J. Needham）编写的世界著名的*Science and Civilization in China*（《中国科学技术史》）。这些著作大多数涉及古代中国的科学和技术，而记录近代和现代的中国科学和技术发展过程的书就较少了。然而从20世纪末开始，参与中国科学技术事业的老一辈科学家已相继离世，有可能形成一个空白。如要完成一部学科俱全、详尽的中国近代和现代的中国科学技术发展史是较困难的。

我从青年时代就开始关注中国的科技考古和科学史，但当时专注于现代科学和高端技术的研究，在科技考古和科学史方面仅是业余爱好者。年过七旬才下了决心，腾出一部分时间从事硅酸盐质文物的科学研究，并努力新建一些无损分析方法用于研究，至今已研究了完整的古代出土文物，如玻璃器和玉器千余件。在这些年的研究工作中我体会到两点：第一，社会、人文科学要与自然科学技术交叉和融合才能发展，认知和保护国家珍贵文化遗产要依靠科学和现代技术。人文科学和自然科学工作者要相互合作、并肩工作，努力培养跨学科的研究人才。第二，在科技考古和科学史研究中要面向世界，不能因为是中国的文物就闭门研究，而是要取得国际话语权，所以书籍和文章应该有英文版，让世界了解中国。

当世界科学出版社（World Scientific Publishing）社长潘国驹先生约请组织出版英文版系列丛书时，我欣然同意，来组织出版有关科技考古和科学史方面的系列丛书。“科技考古和科学史”系列丛书第一部分以中国可移动文物的科技考古和发展史为主，包括瓷器、玻璃器、青铜器、铁器、玉器、丝绸，以及与中国古代农业和生计密切相关的动物、植物的考古等；第二部分以不可移动文物的科学认知和科学保护为主，包括敦煌壁画、秦兵马俑等；第三部分为近代和现代科学史，包括光学和光电子学、现代科技考古学、凝聚态物理学、机械力学等。

丛书的英文版由世界科学出版社与双世出版公司（World Century Publishing Corporation）联合出版，上海科学技术出版社出版系列丛书的中文版。感谢世界科学出版社和上海科学技术出版社编辑做出的不懈努力。

干福熹

前　　言

从事玻璃科学技术的研究已有半个多世纪，但主要致力于现代玻璃科学技术和高技术玻璃方面的研究工作。很久以来，在工作之余，自己有一个心愿，就是希望对自己所从事研究的对象——玻璃的诞生和发展的历史有个较清晰的认识，特别是作为世界文明古国之一的中国的玻璃技术发展历史。

这个愿望在10年前我进入古稀之年时，得到实现。承蒙中国科学院和国家自然科学基金委员会的支持，使我在10多年中有条件在这方面做点研究。在我工作所在单位——中国科学院上海光学精密机械研究所和复旦大学诸位同事的支持、配合和协作下，从21世纪初采用无损分析方法开展对古代玻璃器物的研究和应用以来，至今已测试分析研究了近千件古代玻璃器物。

国际上对古代玻璃的研究起始于20世纪初，国际考古界逐渐确认了公元前20世纪至公元前15世纪的古巴比伦和古埃及为世界玻璃制造的发源地。中国古代玻璃产生较晚些，约在先秦时期。汉代以后的史料中，有不少玻璃制品和技术从国外传入的记载；20世纪五六十年代以来，国内也出土了不少古罗马和波斯造型的玻璃器皿。所以，长时期以来，中外学者普遍认为，中国古代玻璃技术起始于汉代通西域后从外传入，“外来说”流行。但也有学者认为，世界公认中国陶瓷最早起源于夏、商时代，为什么中国古人早期不会制造玻璃呢？因为制造玻璃的原料和所需的炉温与制造陶瓷是很相似的。因此，对中国古代玻璃技术的发展史需要有更细致的分析和梳理。

20世纪五六十年代以来，在中国古墓的发掘中不断有玻璃物品被发现，其制造年代从先秦和汉，直至唐、宋、元、明和清，为我们进一步研究中国古代玻璃技术，提供了很重要的佐证和材料。所以，10年前我专门邀请中国考古和文物界专家，一起撰写了有关中国古代玻璃的出土、历史背景以及造型艺术和玻璃质地等方面的分析研究结果。

同时，我们利用无损分析方法，初步测试分析了一批古代玻璃样品。2005年编写出版了《中国古代玻璃技术的发展》一书。该书出版后受到国内专业人士和爱好者的好评，在国外也有一定的影响。书籍早已销售罄尽，读者盼望有新的书出版。这10年来，在国

内又不断有新的古代玻璃出土，同时中国古代玻璃科技考古研究也不断产生新的成果。

第1届上海国际玻璃考古会议（2005 Shanghai International Workshop on Archaeology of Glass）召开，至今也已快10年了。那次会议的主题为“丝绸之路上的古代玻璃研究（Ancient Glass Research along the Silk Road）”。会议论文集的中文版于2007年由复旦大学出版社出版。经过较多补充后，于2009年由世界科学出版社（World Scientific Publishing）出版了英文版，在国际上也得到了读者的认可。

2012年11月在上海召开了第2届国际玻璃考古会议，会上有20余篇报告。在会议结束前的全会讨论中，会议参加者一致希望能再由世界科学出版社出版会议论文集英文版。经过近两年时间的稿子收集和编辑出版准备，打算出版*Recent Research Progress of Ancient Glass and Glaze in the World*（《世界古代玻璃和瓷釉的近期研究进展》）一书，近期已可发稿。这些资料，也已用于本书的写作出版。

应用现代科学技术方法研究古代玻璃是当前科技考古工作的主要方面。本书编写中收集了应用质子激发的X射线荧光光谱仪、便携式X射线荧光光谱仪、拉曼光谱仪以及微量元素和同位素分析等研究分析古代玻璃材质和起源的资料。本书附录中收集了我们用无损分析方法分析测试过的700余件中国古代玻璃器皿的化学成分，有些包括微量元素的实验数据，供应用参考。本书中也有较多的文章来研究分析古代玻璃的着色剂和乳浊剂，以作为古代玻璃研究发展中又一个方面的佐证。

釉砂（釉包裹的石英砂，faience）是古代玻璃的先驱体，它产生在比玻璃出现更早的年代，本书中也有一定的章节对其进行阐述，内容涉及中国早期的釉砂及其流通。在人造玻璃出现前，古人已用质地坚实的天然玻璃作工具、礼器和装饰用品。本书增补介绍了中国的天然玻璃（黑曜石和玻陨石）及其与国外的天然玻璃之比较。玻璃和釉（瓷釉和陶釉）都属于非晶态物质，它们之间有不少联系，书中首次提出了早期中国的钾钙硅酸盐玻璃与原始瓷的瓷釉的关系以及中国早期的铅钡硅酸盐玻璃与早期低温釉陶的关系。

光阴荏苒，从出版《中国古代玻璃技术的发展》一书至今，又过去了10个春秋，原书不少作者已到了颐养天年的退休年龄，但大家还矢志不渝地积极参加本书的编写工作。我自己也已从古稀之年进入耄耋之年，希望能近期完成本书的编写工作。感谢顾冬红和李青会等研究员的积极参与组织和努力工作。也向我的夫人颜宝新女士在全稿文字的修饰、排版及校对上的努力致谢，使本书能及早与读者见面。

干福熹

2015年春于上海

目　录

第1章　中国古代玻璃研究概况

干福熹

关于中国古代玻璃研究的早期情况，干福熹在主编的《中国古玻璃研究》的代序中已介绍过[1]，至今已近30年了。嗣后编写的《中国古代玻璃技术的发展》一书（干福熹等著，上海科学技术出版社，2005）发行至今也有10年了[2]。在此期间，干福熹在国外的图书馆和博物馆又阅读和收集了国外对中国古代玻璃研究和评论的文章。同时在这段时间内，国内研究中国古代玻璃技术成果的报道和出版的书籍也较多。所以，本章拟作为本书的绪论，以补充和梳理有关中国古代玻璃技术发展的历史。

1.1　国内古代玻璃研究和史料记载概况

有关中国古代玻璃的描述在很早的史料中已有记载。最早出现的名词，有“璆琳琅玕”“琉琳”“流离”“玻璃”等，以后使用“琉璃”这一名词较为普遍。据《石雅》作者章鸿钊的考证，“琉璃”是从“琉琳”音转变而来的。近代有关玻璃的书籍中，“硝子”“料器”等名词也有应用。中国古代史籍，如《尚书·禹贡》《盐铁论》《论衡》《魏书·西域》《太平御览》《旧唐书》《北史·大月氏传》等，其中皆有中国自制的和从外国传来的玻璃器的记载。这里最值得提出的是东汉王充（1世纪）的著名古代科学著作《论衡·率性篇》中讲到，用聚光镜点火，其材料是用熔炼得到的玻璃经过加工制成（“消炼五石，铸以为器，磨砺生光，仰以向日，则火来至”）。这说明2 000多年前中国已能自制和加工玻璃，与出土文物的情况是一致的。另一篇为《魏书·西域》中所讲，请外来工匠熔炼玻璃，其品质优于国外（“世祖时，其国人商贩京师，自云能铸石为五色琉璃。于是采矿山中，于京师铸之。既成，光泽乃美于西方来者”）。

10—15世纪世界玻璃制造业发展并不快，中国正值宋、元、明初，玻璃制造技术以及产品发展处于停滞状态，也没有系统性的有关玻璃的论述和记载。15世纪后，中西文化发展和交流比较活跃，中国宫廷和民间的琉璃（包

括琉璃瓦)制作发展较快。特别在17世纪,清康熙初年就下诏,内务府下设造办处,建立"玻璃厂",名称上和组织上与制造琉璃瓦的"琉璃厂"分开。在山东,以淄博的博山琉璃厂为主,博山地区在明初就有相当规模的琉璃制造业[3]。

中国17世纪孙廷铨编纂的《颜山杂记》卷四物产篇所述"琉璃"一文,后人冠以篇名《琉璃志》,内容包括生产琉璃的原料、熔制、着色、产品分类及制作工艺等,其中包括琉璃历史的考证,因而《颜山杂记·琉璃》不失为一部系统性的琉璃制造著作。对《颜山杂记·琉璃》的解说和校注,近来已有很好的文章[4-5]。可见当时玻璃已作为人们的日常用品,其制作技术已有专门介绍。

中国有关古代玻璃的介绍和起源的讨论始于20世纪30年代,有一些比较详细的文章,但大多数作为史料分析和介绍,如胡肇椿的《琉璃辩》[6]、刘敦桢的《琉璃窑轶闻》[7]、森汉的《中国古代玻璃》[8]等,一般认为中国古代玻璃制作起始于战国和西汉。20世纪50年代以前,中国对古代玻璃缺乏科学考古的工作。

1.2 西方对中国古代玻璃的研究与评述

鸦片战争以后,中国文物不断流失,从20世纪20年代起西方开始讨论中国古代玻璃的起源问题,也出现了对中国古代玻璃的化学成分分析和研究。

对中国文物研究中,最早的一些西方学者认为中国的古代玻璃是从埃及传入的,代表人物如德国的Neumann,他认为中国发掘出的古代玻璃是从埃及传入,中国自己制造玻璃要比欧洲迟得多[9]。另一俄国人Farmakovski则提出,古代中国不存在专门制造玻璃的技术和作坊,和陶瓷相联系的釉料是可能有的[10]。到20世纪30年代初,西方看到一些具有中国古代艺术特征的玻璃制品后,认为"料器"在中国汉、唐已有,而吹制玻璃技术最早在17世纪或18世纪出现。但是,从日本出土的弥生时代(前300—公元300)的古代玻璃,被认为从中国传去,就说明中国早就有玻璃[11]。

西方在20世纪30年代后的有关中国古代玻璃的文章和书籍大多数引证自Seligman与Beck的工作[12-13]。他们从加拿大传教士怀特(W. C. White)手中获得1928年在洛阳市东北方20余公里的金村古墓中的珠子、镶嵌玻璃珠的铜镜和带钩,年代跨越汉至唐。W. C. White是一位很特殊的人物,他是加拿大皇家安大略博物馆(Royal Ontario Museum)的奠基人之一。20世纪20—30年代来华,任河南天主教区主教,其间收集了大量的中国出土文物,并编写了*Tombs of Old Lo-Yang*(《洛阳故城古墓考》)一书[14]。他把收集到的中国古代玻璃捐献给皇家安大略博物馆。图1.1为至今还在展出的中国战国时期古代玻璃(铅钡硅酸盐玻璃珠)。

Seligman与Beck用光谱分析玻璃化学成分方法,发现在汉和汉以前的54个样品中含PbO的有52个(占96.3%)、含PbO和BaO的有39个(占72.2%);唐代以后的15例中,含BaO在5%以下的有7例(占46.7%)、不含BaO的有8例(占53.3%)。这些化学成分独特的古代玻璃惊动了西方。西方到7世纪从希腊的罗得岛才发现含PbO的玻璃,而含BaO的玻璃要到18世纪后才有,但是他们坚持远东玻璃起源于西方[15]。在他们的著作中对中国玻璃珠的





图1.1 中国战国时期蜻蜓眼铅钡硅酸盐玻璃珠(a、b)(加拿大皇家安大略博物馆藏)

图形、色彩及艺术设计做了比较仔细的描述，并与埃及等西方古国的玻璃珠作比较，认为较为相似，这是他们做出以上结论的主要依据。在20世纪30到40年代对中国古代玻璃的分析和探究起源的类似的文章也较多[16-17]。20世纪中叶后物理分析方法应用于不破坏分析，因而有关中国古代玻璃的分析结果也在增多[18]。

20世纪50年代，英国的Turner在综合分析各国古代玻璃成分后还认为，含PbO的玻璃在埃及、中东和印度于公元前已有，中国玻璃起源于埃及[19-20]。苏联学者Bezborodov则根据中国发达的古代文明及陶瓷的发展，认为中国在公元前有可能出现自己的玻璃制造技术，同时中国古代玻璃中含有大量的BaO是其他国家古代玻璃所没有的[21]。

英国著名学者李约瑟(J. Needham)认为，含PbO的古代玻璃在西亚也是不多见的，而含BaO的玻璃在西方更没有见过。当然，不能认为BaO是作为铅矿的杂质引入的，因为同时代有很多只含PbO而不含BaO的玻璃，BaO是人们为降低熔化温度和增加光泽而有意识加入的。他还认为最早的中国古代玻璃可推到春秋和战国时代。中国古代玻璃是不透明的，东汉以后有可能出现透明玻璃和吹制技术[22]。

日本学者丸山次雄曾系统地报道了古代玻璃的历史研究，详细地介绍了埃及、地中海区域、古罗马、印度和巴基斯坦的古代玻璃情况，但是由于病故而中断了关于中国古代玻璃情况的分析[23]。与其同时期的渡边逸郎，在谈到日本的古代玻璃发展时，他提出在中国汉代，玻璃制造技术是由陆上和海上丝绸之路从中亚传至中国(洛阳)，然后再从中国经朝鲜半岛(庆州)传至日本。主要的依据是早期中国和日本的琉璃珠(镶嵌珠，又称蜻蜓眼玻璃珠)的造型与西方的酷似[24]。山崎一雄根据日本古坟时期出土的古代玻璃成分与中国汉朝玻璃成分的一致性，即含大量的PbO，确认中、日玻璃制品交流始于汉代[25]。在朝鲜北部也出土了2世纪的玻璃，认为由中国传入。

从20世纪70年代以来美国康宁玻璃博物馆(The Corning Museum of Glass)用现代分析方法对中国古代玻璃样品做了比较仔细的分析[26]，也进行了介绍[27-29]，对推动中国古代玻璃的研究起了积极的作用。

Engle A在20世纪70年代对中国古代玻璃制造做了一个较系统的介绍[30]。比较多的篇幅是在Seligman和Beck文章[13]的基础上介绍中国玻璃珠的图形、艺术和制作以及中国古代玻璃

的成分，由于引用“外来说”，他对中国周边少数民族与中原的关系和来源介绍得比较多，这对我们进一步研究中西古代玻璃交流是有帮助的。这时国外其他博物馆根据其收藏，也有系统介绍中国古代玻璃的文章[31]，但因为都是收藏品的文物介绍，所以科学研究的价值就不太大。

在相当长一段时期内，国外对中国古代玻璃技术发展的总看法大约为：中国早期（前5—前4世纪）的琉璃珠与埃及的护身器的镶嵌玻璃珠很相似，估计在史前已有贸易来往。BaO和PbO共存是中国古代玻璃的特征，主要出现在战国和西汉时期，古代玻璃主要为仿玉器，以中国的璧为代表。罗马帝国时期，从波斯来了玻璃制造工匠，引进了玻璃吹制技术。14世纪伊斯兰玻璃影响到中国的搪瓷（瓷釉）的设计，15—16世纪浮雕玻璃的制造是由欧洲传教士指导的。加拿大的Warner与Bimson[32]测定出唐代乳白玻璃的乳白剂为CaF_2与NaF晶体，认为中国使用萤石作乳白剂比西方早。根据Turner与Rooksby分析，西方古代玻璃在6世纪用氟磷酸盐作乳白剂，到14世纪广泛应用。西方到19世纪才使用萤石作乳白剂。

1.3 中国古代玻璃的研究状况和进展

中国对古代玻璃的科学研究工作起始于20世纪中叶。新中国成立后，袁翰青对中国古代玻璃做了有价值的成分分析和研究，分析了从洛阳和长沙出土的4种战国时期的玻璃珠和璧后，指出PbO含量高和PbO与BaO共存是中国古代玻璃的特色[33]。半个世纪以来，在中国古墓发掘中不断发现古代的玻璃器物，从西周、春秋、战国直至唐、宋、元、明，为我们进一步研究中国古代玻璃，提供了很重要的例证和材料。20世纪70年代末干福熹等根据查阅的资料和初步的技术检验，提出中国古代玻璃的起源问题，引起了学术界的讨论[34]。杨伯达通过对出土文物资料的分析，支持中国古代玻璃“自创说”的观点[35]。这一问题的学术讨论也引起了国外的关注和报道[36]。

对中国古代玻璃技术的研究在20世纪80年代有了较快的开展，主要由以下两个方面的因素促成：一方面，中国的玻璃科技界介入了对中国古代玻璃的科学研究，不仅对中国古代玻璃的化学成分做了大量的测试，同时对古代玻璃的风化、保存和制作工艺做了多方面的研究[37-40]；另一方面，文物考古界系统整理出中国的古代玻璃出土文物，从文化交流、历史背景与文物的对比各方面进行了分析研究[41-44]，并与中国玻璃科技界合作进行古代玻璃的科技考古。安家瑶作为中国第一位从事中国古代玻璃研究的研究生，完成了论文工作[45]，她收集了187件中国早期玻璃器皿的材料，并实地考察了106件实物，完成了对中国唐、宋玻璃器皿的考证。在文物考古界和玻璃科技界的共同努力下，1984年6月在湖南长沙由干福熹主持了中国首次中国古代玻璃研究学术讨论会，为1984年北京国际玻璃学术讨论会中玻璃考古专题讨论做了准备，也是第一次文物考古界与玻璃科技界的汇合交流的会议。图1.2是参加会议的人员合影。

1984年10月，来自美国、日本、印度的玻璃考古学者和中国建筑材料科学研究总院、中国科学院上海光学精密机械研究所、轻工部上海玻璃搪瓷研究所、中国科学院上海硅酸盐研究所等单位的玻璃科学工作者，以及中国社会科学院考古研究所、故宫博物院、湖北省博物馆、湖南省博物馆、广西壮族自治区博物馆、陕西历史博物馆、广州博物馆等单位的文物



图1.2　1984年6月在湖南长沙举行的“中国古代玻璃研究学术研讨会”人员合影（前排左起：1. 黄启善、2. 安秀春、5. 安家瑶、7. 蔡可玉；后排左起：1. 易家良、3. 史美光、4. 后德俊、6. 何欧里、8. 干福熹、9. 肖炳荣、10. 熊传俊、11. 黄振发）

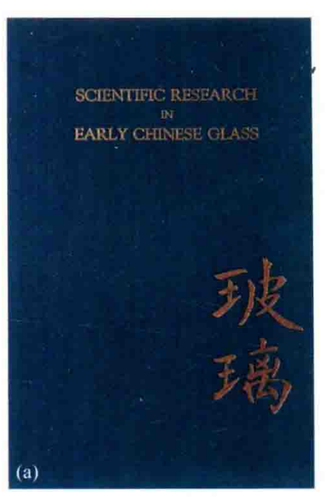
考古工作者参加了1984年国际玻璃学术讨论会中的“玻璃考古”专题研讨会。该研讨会由中国硅酸盐学会和国际玻璃协会玻璃考古专业委员会（TC-17）联合主持，系统地报告了从西周至明、清约2 000余年中国古代玻璃的中外研究结果。这对开展中国古代玻璃研究和走向国际交流是极为重要的。图1.3为会议主持人和主要外宾合影。会后于1986年出版了中文版会议论文集[1]。该论文集收集了会议中中国学者提出的关于中国古代铅玻璃，早期玻璃器皿，春秋战国琉璃璧，扬州汉墓玻璃衣以及广东、广西、湖南、湖北等地出土的玻璃器及饰物的研究；反映了中国古代玻璃研究的进展。论文中还有美国康宁玻璃博物馆等对中国古代玻璃物理性质、化学组分和同位素分析等方面的研究结果；日本学者关于中国古代玻璃与日本出土的古代玻璃的关系的报道。同时，也收录了长沙讨论会及其他方面古代玻璃的有关论文，共有18篇。所以这本论文集实际反映了国内、国外当时对中国古代玻璃研究的全面情况，这对我们进一步研究中国玻璃技术发展史起了积极的作用。经多方努力并补充了材料，于1991年由美国康宁玻璃博物馆出版了该论文集的英文版（图1.4）[46]。该次会议的论文集至今仍被作为中外研究中国古代玻璃的重要资料。

20世纪90年代，文物考古界对中国古代玻璃研究更为关注，出版了介绍中国古代玻璃的书册[47-50]，为扩大人们对中国古代玻璃的认识起了积极的作用。在研究中国古代玻璃技术的发展历史中，应注意到中西文化之间的交流，特别在中国南方（两广地区）出土了早期（战国和汉代）K_2O含量较高而CaO和MgO含量较低的K_2O-SiO_2玻璃系统[51]，以及新疆出土了$Na_2O-CaO-SiO_2$玻璃系统后，对公元前南方（海上）丝绸之路[52]和西北（沙漠）丝绸之路[53]的玻璃文化和技术交流更为注重。这段时间也出土了一批魏晋、唐宋时代的大件玻璃制品，如陕西法门寺的玻璃器皿等，这些玻璃器皿具有明显的波斯、萨珊和伊斯兰玻璃的造型特征[54-57]，加深了人们对中西玻璃文化交流的认识。

中国古代玻璃科研工作者，以后积极参与了历届国际玻璃大会（每3年召开一次）中有关玻璃考古的专题讨论。李家治、干福熹应邀在第17届国际玻璃大会的全体会议上做了“中国古代玻璃和瓷釉的着色”报告[58]，史美光、黄启善、安家瑶分别在第15届、第18届和第



图1.3 1984年北京国际玻璃学术讨论会，"玻璃考古"专题主持人干福熹（左3），特约报告人布里尔（R. H. Brill，美国；左1），胡兴斯基（J.Wosinski，美国，左2），山崎一雄（K.Yamasaki，日本；右1）



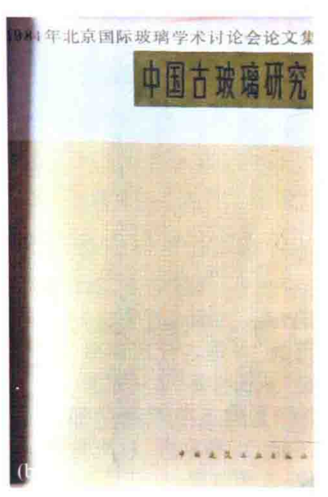


图1.4 1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集

（a）*Scientific Research in Early Chinese Glass*（玻璃）（R. H. Brill, J. H. Martin; The Corning Museum of Glass, 1991）；

（b）《中国古玻璃研究》（干福熹，中国建筑工业出版社，1986）

19届国际玻璃大会的"玻璃考古"专题会议上做了"中国出土的早期玻璃的化学成分"[59]、"广西的汉代钾玻璃"[60]、"新疆出土的古代玻璃"[61]报告。

近年来，中国古代玻璃文物考古界人士在国外的有关古代玻璃的文集上发表了综述文章[63-66]和在美术集上大量登载了中国古代玻璃的彩色文物照片[67]，这对宣传中国古代玻璃起了积极的作用。

香港关善明收集和收藏了上千件中国古代玻璃的制品（包括珠饰），其中50余件交给美国康宁玻璃博物馆永久保藏并进行成分分析，并且与香港中文大学物理系和南京博物院等单位合作，整理出中国出土古代玻璃一览表并收集和登载了很多玻璃文物的彩照，同时展出他所收藏的古代玻璃的照片及有关化学成分，整理出版了《中国古代玻璃》一书[68]，这对中国古代玻璃研究具有特别的价值。

进入21世纪的10多年中，中国古代玻璃的科技考古研究有了较好的发展。21世纪初干福熹加盟复旦大学（从兼职教授改为正聘教授），其中目的之一就是基于复旦大学有较强的文科和理科相关专业，干福熹可以顺利地利用学校的测试分析设备，来深入进行科技考古的研究。首先干福熹团队与复旦大学近代物理所合作，把质子激发X射线发射分析（proton induced X-ray emission，PIXE）谱仪用作古代玻璃器的化学成分的无损分析，在实验方法上做了很大改进，并能够作轻元素的定量分析；也应用了化学系的拉曼（Raman）光谱仪和学校测试中心的X射线衍射仪作结构和矿物相的检测。正因为有了无损分析的测试手段，文物考古部门才能较放心地送来样品进行合作研究。

中国科学院上海光学精密机械研究所为支持古代玻璃的科技考古研究，成立"科技考古中心"，大力发展原位无损分析的研究，培养了10多位研究生，从事材质的定量分析研究工作。近几年逐步开展了对体形较大的和文物级别较高的古代玻璃器的测试研究，并对不



图1.5　出席2002年“中国南方古代玻璃学术研讨会”人员合影（第一排左起：1. 吴伟峰、2. 陈远章、4. 查连芳、5. 于琛、6. 干福熹、7. 黄启善、8. 李昭和、9. 冯永驱、10. 梁荣基；第二排左起：1. 黄静、2. 吴海贵、3. 樊海涛、4. 易家钟、5. 李青会、6. 莫洪贵、7. 邢进原、8. 刘明琼、9. 申世芳、10. 顾冬红、11. 程逸殿；第三排左起：6. 周敏）

能移动的古代玻璃器进行了原位测试分析。

干福熹团队主要关注早期的古代玻璃的来源和中外文化、技术的交流，特别注意中国西北和北方以及西南和南方的古代玻璃的研究。

“中国南方古代玻璃学术研讨会”于2002年12月在广西南宁召开，有来自广东、广西、云南、贵州、四川和重庆等各省、市文物和考古单位代表及中国科学院上海光学精密机械研究所的玻璃科技工作者参加，见图1.5。大家做了有关中国古代玻璃在南方的出土、收藏介绍和研究报告，与会代表还就与古代玻璃相关的东西方文化交流、民族迁徙和相关的冶金技术等进行讨论。会后玻璃科技工作者与南方和西南地区文物单位合作测试研究了70余件古代玻璃样品。会议的报告和古代玻璃样品测试结果，汇编成《中国南方古玻璃研究》一书，见图1.6[69]。

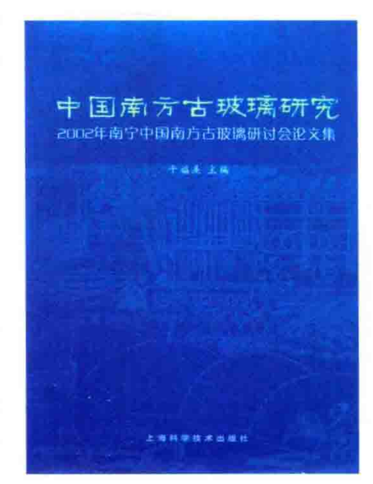


图1.6　《中国南方古玻璃研究》（干福熹，上海科学技术出版社，2003）

2004年8月在新疆乌鲁木齐市召开了“中国北方古玻璃研讨会”，出席会议的有来自新疆文物考古研究所、新疆维吾尔自治区博物馆、吐鲁番市文物局、中国科学院上海硅酸盐研究所、中国科学院上海光学精密机械研究所、复旦大学、北京科技大学、宁夏回族自治区固原博物馆、青海省文物考古研究所、辽宁省文物考古研究所等单位的专家、学者（图1.7）。在这次会议上，与会代表各自宣讲了有关中国西



图1.7 出席2004年“中国北方古玻璃研讨会”人员合影（第一排左起：1. 梁荣基、4. 范滇元、6. 干福熹、9. 李肖、10. 伊弟利斯；第二排左起：1. 马波、2. 钱钟华、4. 邓佩珍、6. 李富铭、10. 潜伟、11. 承焕生、12. 杜玉冰、14. 李文英、16. 黄运良；第三排左起：2. 郭治中、3. 任晓燕、6. 陈坤、13. 李青会、16. 吴隽、18. 顾冬红、19. 于志勇）

北和北方出土、收藏的古代玻璃物品及技术传播，并围绕着西北（沙漠）丝绸之路和北方（草原）丝绸之路，广泛讨论并会后合作研究了近500余件古代玻璃器样品。

一年后（2005年4月）在中国硅酸盐学会和国际玻璃协会玻璃考古专业委员会（TC-17）的发起下，在上海召开了以“丝绸之路上的古代玻璃研究”为主题的“2005上海国际玻璃考古研讨会”（2005 Shanghai International Workshop on Archaeology of Glass）。与会人员有来自美国、韩国、日本、乌兹别克斯坦等国，及中国新疆、陕西、四川、贵州、内蒙古等省（自治区）文物考古所和博物馆的专业人士，以及来自中国社会科学院考古研究所、中国文物研究所、中国科学院上海光学精密机械研究所和中国科学院上海硅酸盐研究所、上海大学、复旦大学、北京科技大学等单位的专家，见图1.8。这次会议汇集了中外专家对中国西北和北方的古代玻璃出土历史、背景、外观特征和化学成分的丰富的研究结果。会后由复旦大学出版社出版了《丝绸之路上的古代玻璃研究》[70]，汇集了2004年乌鲁木齐中国北方古玻璃研讨会和2005年上海国际玻璃考古研讨会的会议论文，包括了25篇文章，收集了当时尚未公开发表的古代玻璃科学研究方面的优秀文章，见图1.9。2009年由世界科学出版社（World Scientific Publishing）出版了*Ancient Glass Research along the Silk Road*[71]（图1.10）。

2012年11月在上海召开了第2届国际玻璃考古会议（图1.11），这次会议上有较多报告是应用现代科学技术方法研究古代玻璃，讨论古代玻璃的材质和溯源。研究了中国古代陶质和



图 1.8　出席“2005 上海国际玻璃考古研讨会”部分代表合影（前排左起：邓佩珍、安家瑶、马丁、布里尔、干福熹、李英淑、承焕生、布里尔的女儿；后排左起：贾少平、潜伟、陆驰、姜捷、顾冬红、李青会、马波、伏修峰、唐晓东）

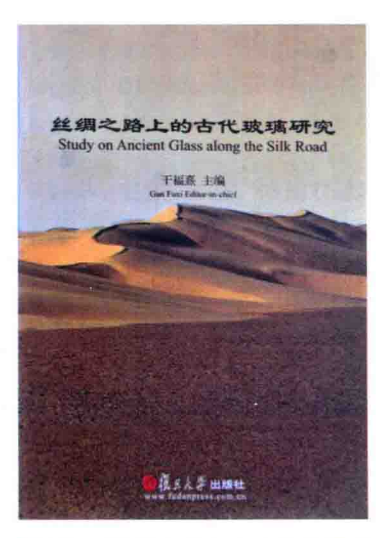


图 1.9　《丝绸之路上的古代玻璃研究》（干福熹，复旦大学出版社，2007）

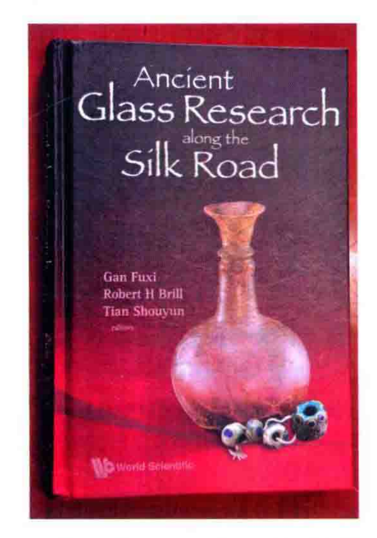


图 1.10　*Ancient Glass Research along the Silk Road*（Gan Fuxi，R. H. Brill，Tian Shouyun；World Scientific Publishing，2009）

瓷质的釉料与古代玻璃的关系，有较多的文章涉及釉砂（faience）。在中国釉砂俗称“料器”，它是古代玻璃的先驱体，产生的年代比玻璃更早，在史前时期就有了它的制造和流通。

对中国古代玻璃的起源、中西玻璃文化技术交流和中国古代玻璃技术发展史，本书做了初步分析的总结和讨论。不少问题还有待于国内外文物考古界和玻璃科技界同仁作进一步共同的深入研究。



图1.11 出席“2012国际古代玻璃学术研讨会”人员合影（前排左起：Sophia Lahlil、承焕生、祝如荣、J. W. Lankton、Julian Henderson、干福熹、黄启善、安家瑶、Brigitte Borell、Izumi Nakai）

参考文献

[1] 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集[M]. 北京：中国建筑工业出版社，1986.

[2] 干福熹，等.中国古代玻璃技术的发展[M]. 上海：上海科学技术出版社，2005.

[3] 张维用.清宫造办处玻璃厂.玻璃与搪瓷[J]，1995，23（5）：51–55.

[4] 张维用.《颜山杂记・琉璃》校注[J]. 玻璃与搪瓷，1996，24（6）：48–52；1997，25（1）：56–57.

[5] 张维用，易家良.《颜山杂记・琉璃》解说[J]. 玻璃与搪瓷，1983，（1），插页i-iii；1983（2），插页i-v.

[6] 胡肇椿.琉璃辩[J]. 中山文化教育馆季刊，1935，2（4）：[页码不详].

[7] 刘敦桢.琉璃窑轶闻[J]. 中国营造学社汇刊，1932，3（3）：[页码不详].

[8] 森汉.中国古代玻璃[J]. 河北省立工学院学报，1937，第三册.

[9] Neumann B. Antike glaser[J]. II. Zeitschrift fur Angewandte Chemie, Bd.40, 1927（40）: 363.

[10] фармковский М В. Римские Стекловаренное Печи[J]. Известия Института Археологеской Технологии. Вкл.1 Петербургии, 1926: 87–88.

[11] Salmony A. Chinese glass: Han and Tang Periods[J]. Abstracts, Part I. J. Amer. Cer. Soc.1930, 13（5）: 330.

[12] Beck H C, Seligman C G. Barium in ancient glass[J]. Nature, 1934, 133（6）: 982.

[13] Seligman C G, Ritchie P D, Beck H C. Early Chinese glass from pre-Han to Tang's times[J]. Nature, 1936（138）: 721.

[14] White W C. Tombs of old Lo-Yang[M]. Shanghai：[s. n.]，1934.

[15] Seligman C G, Beck H C. Far eastern glass: some western origin[J]. Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities,1938（10）: 1–50.
[16] Ritchie P D. Spectrographic studies on ancient glass: Chinese glass from pre-Han to Tang times[J]. Technical Studies in the Field of the Fine Arts, 1937（5）: 209–220.
[17] Honey B. Early Chinese glass[J]. Burlington Magazine, 1937（71）: 211–213, 216–19, 221–23；Transaction of the Oriental Ceramic Society,1939–1940（17）: 35–47.
[18] Caley E R. Analysis of ancient glasses[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1962: 83–92.
[19] Turner W E S. Study of ancient glasses and glassmaking process[J]. J. Soc. Glass Tech., 1954（138）: 445；1956（140）: 162.
[20] Turner W E S. Ancient glass and glassmaking[J]. Proc. Chem. Soc., 1961（4）: 93.
[21] Безσородов М А. Стеклодение в Древней Русии[M]. Изд. АНБССР,1956: 40.
[22] Needham J. Science and civilization on China[J]. Cambridge, 1962（14）: 99.
[23] Maruyama T. Study on ancient glasses[J]. Ceramics（Japanese）, 1968（3）: 19, 195, 367, 541, 750, 921；1969（4）: 37, 217, 418, 618, 780, 965, 1054; 1970（5）: 44, 218, 776, 986.
[24] 渡边逸郎. 陶瓷[M]. [出版地不详]: [出版者不详],1969,4（6）: 501.
[25] Yamasaki K. Chemical composition of ancient glasses found in Japan[C]//Proceedings of Xth International Congress on Glass. Kyoto, 1974: 15–20.
[26] Brill R H, Yamasaki K, Barnes I L, et al. Lead isotopes in some Japanese and Chinese glasses[M]. Arts Orientals XI, 1979: 87–109.
[27] Warren Phelps. Later Chinese glass, 1650–1900[J]. J. Glass Studies, 1977（19）: 84–126.
[28] Taylor Zachary. Ancient Chinese glass[J]. Art of Asia, 1978, 4（6）: 27–31.
[29] Brill R H. Glass and glassmaking in ancient China, and some other things from other places[J]. In The Toledo Conference, 1993 Journal, The Glass Art Society, 56–59.
[30] Engle A. Glassmaking in China[J]. Reading in Glass History, 1976（6/7）: 1–38.
[31] Engle A.Ancient Chinese glass with astronomical intent[J]. Reading in Glass History, 1982（15/16）: 39–47.
[32] Warner A E,Binson M. Some opacifying agents in oriental glass[J]. Adv. Glass Tech., 1948（2）: 303.
[33] 袁翰青. 我国化学工艺中的制造玻璃问题[C]//中国化学学会1957年度论文报告会（会议摘要）, 1957: 80–81.
[34] 干福熹, 黄振发, 肖炳荣. 我国古代玻璃的起源问题[J]. 硅酸盐学报, 1978, 6（1/2）: 99–104.
[35] 杨伯达. 关于我国古代玻璃史研究的几个问题[J]. 文物, 1979（5）: 76–78.
[36] 山崎一雄. 中国のガラスの历史—近时の研究の绍介[J]. Glass, 1980（8）: 2–5.
[37] 张福康, 程朱海, 张志刚. 中国古琉璃的研究[J]. 硅酸盐学报, 1983, 11（1）: 67–76.
[38] 程朱海. 试探我国古代玻璃的发展[J]. 硅酸盐学报, 1981（9）: 96–104.
[39] 史美光. 一批中国古代铅玻璃的研究[J]. 硅酸盐学报, 1986, 5（1）: 307–313.
[40] 李家治, 陈显求. 扬州西汉 $PbO-BaO-SiO_2$ 系玻璃及其腐蚀层的研究[J]. 硅酸盐学报, 1986, 14（3）: 293–297.
[41] 杨伯达. 西周玻璃的初步研究[J]. 故宫博物院院刊, 1980（2）: 14–24.
[42] 范世民, 周宝中. 馆藏部分的玻璃制品的研究：兼谈玻璃史的若干问题[J]. 中国历史博物馆馆刊, 1983（5）: 413–448.
[43] 中国社会科学院考古研究所, 等. 中国早期玻璃器检验报告[J]. 考古学报, 1984（4）: 449–457.
[44] 安家瑶. 莫高窟壁画上的玻璃器皿：敦煌吐鲁番文献研究论集二[M]. 北京：北京大学出版社, 1983.
[45] 安家瑶. 中国早期玻璃器皿[J]. 考古学报, 1984（4）: 413–448.
[46] Brill R H, Martin J H. Scientific research in early Chinese glass[C]//Proceedings of the Archaeology of Glass Session of the 1984 International Symposium on Glass, Beijing. New York: The Corning Museum of

Glass, 1991.
[47] 后德俊.楚国的矿冶髹漆和玻璃制造[M].武汉：湖北教育出版社，1995.
[48] 冯乃恩.古玻璃鉴赏与收藏[M].长春：吉林科学技术出版社，1996.
[49] 安家瑶.玻璃器史话[M].北京：中国大百科全书出版社，2000.
[50] 傅举有.中国早期玻璃研究[J].历史文物—国立历史博物馆馆刊，1999(72)：76-88；1999(74)：62-73；1999(75)：53-63；2000(83)：39-51.
[51] 史美光.一批中国汉墓出土钾玻璃研究[J].硅酸盐学报，1986，14(3)：307-313.
[52] 黄启善.广西发现的汉代玻璃器[J].文物，1992(9)：46-48.
[53] 安家瑶.镶嵌玻璃珠的传入及发展：沙漠路线考察乌鲁木齐国际讨论会文集[M].北京：新世界出版社，1996：351-367.
[54] 安家瑶.北周李贤墓出土的玻璃碗：萨珊玻璃器的发现与研究[J].考古，1986(2)：173-181.
[55] 马文宽.辽墓辽塔出土的伊斯兰玻璃：兼谈与伊斯兰世界的关系[J].考古，1994(8)：743-763.
[56] 张正明.料器与先秦的楚滇关系和中印交通[J].江汉论坛，1988(12)：68-72.
[57] 韩伟.法门寺地宫伊斯兰琉璃初探：沙漠路线考察乌鲁木齐国际讨论会文集[M].北京：新世界出版社，1996：393-402.
[58] Li Jiazhi, Gan Fuxi. Coloration of ancient Chinese glasses and glazes[C]//Proceedings of XVII International Congress on Glass. Beijing,1995, Vol. invited lectures: 66-75.
[59] Shi Meiguang, He Ouli, Zhou Fuzheng. Chemical composition of ancient glass unearthed in China[C]//Proceedings of XV International Congress on Glass. Leningrad, 1989, Sec. Archaeometry: 7-13.
[60] Huang Qishan, Wang Wei. Study of Han Dynasty potash glass in Guangxi[C]//Proceedings of 18th Inter. Congr. Glass. San Francisco: Section Glass Archaeometry, 1998: 85-89.
[61] An Jiayao. Ancient glass found in Xinjiang[C]//Proceedings of 19th International Congress on Glass, Vol. Extented Abstracts, Edinburgh, Scotland, 2001.
[62] Shi Meiguang, Zhou Fuzheng. Some glass unearthed from a tomb of the Warring State Period[C]//Proceedings of XVⅡ International Congress on Glass. Beijing, 1995(6): 503-506.
[63] An Jiayao. Dated Islamic glass in China[C]. Bulletin of the Asia Institute, New Series,1991(5): 109-123.
[64] Shi Meiguang, Li Yinde,Zhou Fuzheng. Some new glass finds in China[C]. J. Glass Studies, 1992(34): 23-26.
[65] Shi Meiguang, Zhou Fuzheng. Some Chinese glasses of the Qing Dynasty[J]. J. Glass Studies, 1993(35): 102-105.
[66] Yang Boda. A brief account of Qing Dynasty glass[M]. [S. 1.]: Bulletin of Phoenix Art Museum, [1987]: 70-93.
[67] 由水常雄.世界ガラス美术全集[M].4版.东京：株式会社求龙堂，1992：121-229.
[68] 关善明.中国古代玻璃[M].香港：香港中文大学文物馆，2001.
[69] 干福熹.中国南方古玻璃研究：2002年南宁中国南方古玻璃研讨会论文集[M].上海：上海科学技术出版社，2003.
[70] 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究[M].上海：复旦大学出版社，2007.
[71] Gan Fuxi, Brill R H, Tian Shouyun. Ancient glass research along the silk road[M]. Singapore: World Scientific Publishing, 2009.

第2章　玻璃态物质的本质和特性

干福熹

在自然界的固体物质中存在着晶态和非晶态两种状态。它们在物质结构上的主要区别为有序和无序，即晶态物质的原子排列从近程（< 1 nm）到远程，是有规则的，而非晶态物质近程有序到中程和远程是无规则的。有人把"非晶态""无定形态""玻璃态"看作同义词，也有人将它们加以区别。在中国的技术词典中，"玻璃态"被定义为从熔体冷却、在室温下还保持熔体结构的固体物质状态。习惯上常称玻璃为"过冷的液体"。"非晶态"作为更广义的名词，即除了从熔体冷却的途径外，还包括用气相的化学和电沉积获得的以结构无序为主要特征的固体物质状态。固体在结构上的特殊性必然会在它的本性和特性上反映出来，所以在研究古代玻璃时必然要先了解玻璃态物质的本质和特性，以及它们和晶态的共性与特性方面。

2.1　晶态和非晶态物质，宝玉石和玻璃

自然界中存在着大量的矿石，但绝大多数为晶态的矿石（包括单晶和多晶体），各种天然宝石大部分也为晶态矿石。非晶态的矿石较少。非人工制备的天然玻璃有两类：黑曜石（obsidian）和玻陨石（tektite）。

自然界中还存在着一种不是经过高温熔化而后急冷形成的无定形物质，它是无机物经水解、低温下形成的无定形物质。如蛋白石（opal），它是二氧化硅（SiO_2）的含水凝胶（gel），由许多凝胶粒结聚，因此产生多色的散射光；也作为名贵的宝石。另一种为有机无定形物质，如琥珀（amber），它是树脂在高压水解中低温形成的，因此有时还夹杂了小昆虫、花叶等，长期以来人们也将其当作宝石来欣赏和收藏。

现在讨论的古代玻璃和现代玻璃都是人工制造的。自然界的大量矿石中，成分为二氧化硅的矿石最多，其中以石英（quartz）矿最著名，有石英岩、石英砂等，分布广泛，因而首先作为熔制玻璃的主要原料。石英的熔点很高（1 710℃），很难熔化，因而要找到助熔剂。在自然矿物中，硝碱（即硝酸钠，

$NaNO_3$)熔点很低;另外,草木灰中含有碳酸钾(K_2CO_3),可作为助熔剂;石灰矿(即碳酸钙,$CaCO_3$)也是分布较广的。因此,含氧化钠(钾)和氧化钙的硅酸盐玻璃(称为钠钙硅酸盐玻璃,soda-lime-silicate glass)是最早人工制造的玻璃,温度高于1 000℃,可以熔化成玻璃液,冷却过程中可以利用塑性成型为不同的玻璃制品。

当人们能制造陶瓷和青铜时,工艺温度高于1 000℃,都有条件来制造玻璃。经过几千年的制造、使用和工艺改进,至今在现代玻璃中钠钙硅酸盐玻璃仍为主要的玻璃类别,如用于窗户、门等地方的平板玻璃就是此类玻璃。

中国的炼丹术开始较早(先秦时期),炼丹的原料为铅矿,如方铅矿(galenite,即硫化铅,PbS)。中国湖南、湖北及江西等盛产铅矿和重晶石(barite,即硫酸钡,$BaSO_4$)。中国古代玻璃中的氧化铅(PbO)和氧化钡(BaO)主要是添加方铅矿和重晶石作为助熔剂。含氧化铅和氧化钡的玻璃称为铅钡硅酸盐玻璃(barium-lead-silicate glass)。在现代玻璃中这类玻璃仍是重要的光学玻璃和装饰玻璃。

人工制造的玻璃器出现后,在中国最初就是仿玉器来使用。古代玻璃器首先作护身符、垂饰、耳环等,作为礼物和陪葬品。总之,玉器和天然宝石大多为天然的晶态物质(人工晶体的制造是20世纪才有的),而玻璃(中国古代称为琉璃)为人造的非晶态物质,两者外观和质地可能相似,但本质和结构大不相同。特别是在鉴赏时要有科学的分析。

2.2 玻璃的宏观性质和微观结构的特点

从宏观性质的变化过程来看,玻璃态物质的主要特征为:从熔融液体状态到固体状态的性质变化过程是连续的和可逆的,其中有一段温度区域呈塑性,称"转变"或"塑性"区域。图2.1表示物质的内能(U)和比容(V)随温度(T)的变化。在结晶情况下,性质变化如曲线$ABCD$所示,从熔体到固体是突变的,T_m为物质的熔点。过冷却形成玻璃时,变化过程如曲线$ABKFE$所示,从熔体到固体是渐变的,T_f为软化温度,T_g为玻璃的转变温度。

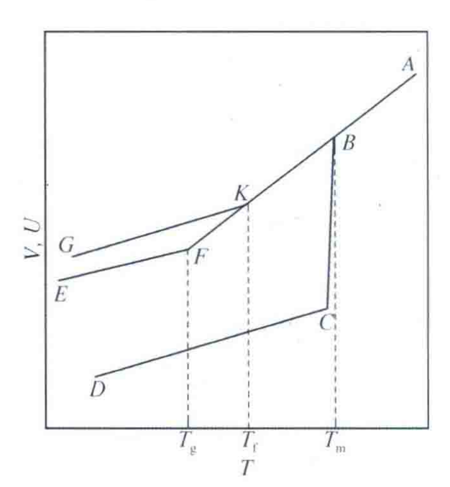


图2.1 内能和比容随温度的变化
BK过冷区;KG快冷;KF转变区;FE慢冷

正因为玻璃性质在温度T_m与T_g之间有渐变的区域,所以,玻璃可以塑性成型,这是晶体所不具备的。有不同的塑性成型方法,如压型、吹制、抽拉和焊接等。发展和改进各种成型方法,在古代玻璃和现代玻璃制造上都起了十分重要的作用。

如图2.1所示,玻璃态的内能高于晶态,它处于亚稳态,在过冷区和转变区容易析晶,这也是玻璃态物质的本性。即使在不析晶的情况下,由于冷却速度不同,经过温度T_g后,虽然皆成玻璃态,同一物质由不同的热历史所形成的玻璃的内能不同,因而会产生结构和性质的弛豫过程。在室温下由于黏度很高,这种弛豫过程进行得很慢,在转变区域就很明显。所以,在玻璃制造过程

中选择合适的玻璃成分，防止熔化后的玻璃体在冷却过程中结晶，是十分重要的问题。为此必须研究玻璃成分与玻璃形成和稳定性的关系。

这种玻璃态物质宏观性质上的特点与它微观结构的差异，主要是玻璃结构上的无序性的反映。玻璃态物质结构上的无序，主要指组成玻璃的原子、离子和分子的空间排列不呈现三维空间的周期性（平移对称），晶态的长程有序遭到破坏。玻璃态物质的近程有序区域很小，与液体相似，在0.5~0.6 nm。因此，把玻璃称为“过冷的液体”，从结构上讲也是合理的。

以二氧化硅的晶态（石英）与非晶态（熔石英玻璃或蛋白石）为例，介绍它们在微观结构上的差异。如图2.2所示，硅原子与氧原子组成一个四面体[SiO_4]，每个四面体以顶角连接[—Si—O—Si—]形成三维结构。一般地，讲晶态与非晶态都近程有序，就是指硅原子与最邻近的氧原子的排列都是以这种硅氧四面体的结构进行。四面体[SiO_4]之间的连接就不同了，石英晶体内部结构中硅氧四面体是以有规则的连接排列（图2.3a），而在熔石英玻璃中硅氧四面体排列无序（图2.3b）。

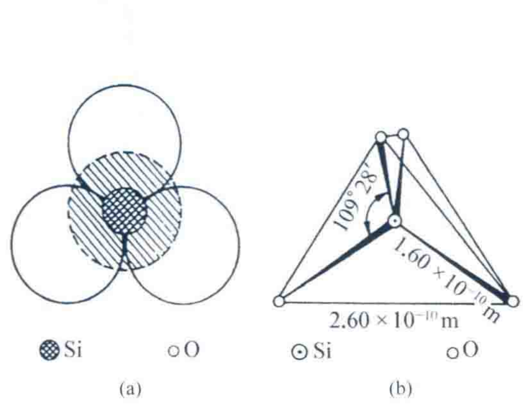


图2.2 硅氧四面体[SiO_4]结构模型
（a）顶视图；（b）硅氧四面体的键角和长度

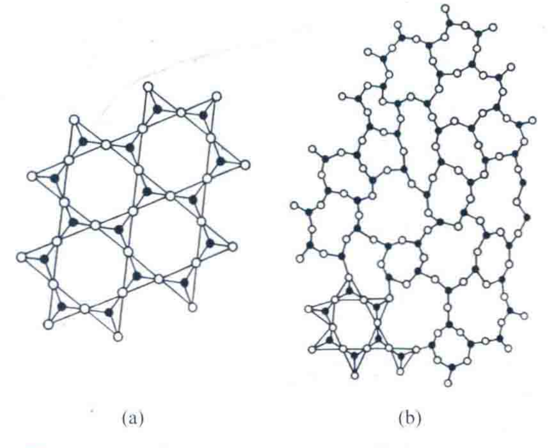


图2.3 [SiO_4]四面体在晶态与无定形态SiO_2中的连接
（a）石英晶体；（b）熔石英玻璃

二氧化硅（SiO_2）玻璃中添加了碱金属氧化物（如Na_2O、K_2O等）和碱土金属氧化物（如CaO、BaO等），它们使硅氧四面体的顶角连接断裂，硅氧四面体中一个或两个顶角的氧原子不与另一个硅氧四面体连接（称非桥氧）。碱金属离子（R^+）和碱土金属离子（R^{2+}）位于硅氧四面体结构网络的间隙。硅酸盐矿物和玻璃原料中常含有氧化铝（Al_2O_3）。铝原子也与氧原子组成铝氧四面体，进入硅氧四面体的网络结构中。多组分的硅酸盐玻璃的结构见图2.4。

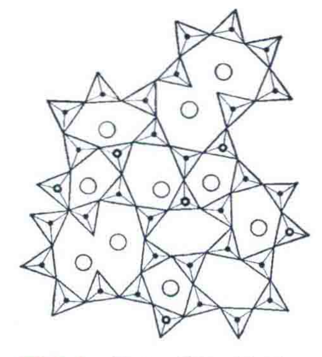


图2.4 $R_2O-RO-Al_2O_3-SiO_2$系统玻璃结构模型（当$Na_2O/Al_2O_3>1$）
•Si^{4+}；∘Al^{3+}；○ R^+，R^{2+}

固体物质中单晶、多晶和非晶（玻璃），一般用X射线的衍射曲线来检验、区别。单晶由于有规整的晶格，具有标记各晶面的衍射线。多晶由于各晶面的衍射峰重叠，但仍有标志性的衍射峰存在。

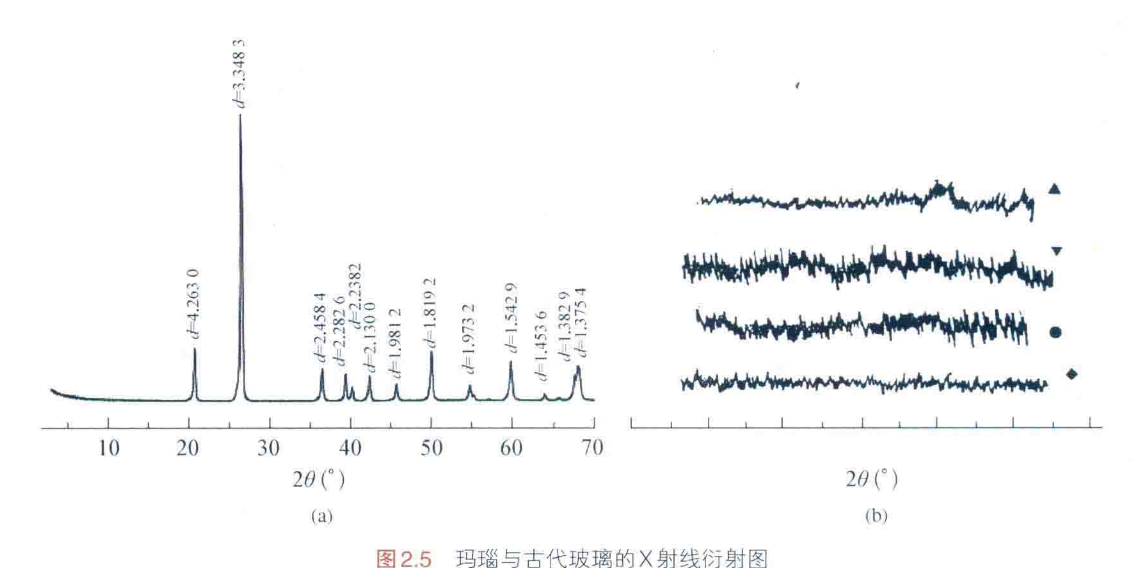


图2.5 玛瑙与古代玻璃的X射线衍射图

(a)玛瑙;(b)古代玻璃

▲ 战国白色玻璃璧;▼ 战国白色琉璃璏;● 西汉绿色玻璃耳珰;◆ 战国墨绿色玻璃璧

非晶(玻璃)态由于缺乏远程有序,因此,就没有特征的衍射峰,有时只有一个弥散的曲线。30多年前干福熹团队用X射线衍射法检验了上海博物馆收藏的战国和西汉的四种琉璃品(璧、璏、耳珰),并用质地细密并呈半透明状的玛瑙(agate)作对比[2]。在X射线曲线上的区分是明显的,见图2.5。玛瑙有一组非常尖锐的衍射峰,而四种古代玻璃只有弥散的一条线。

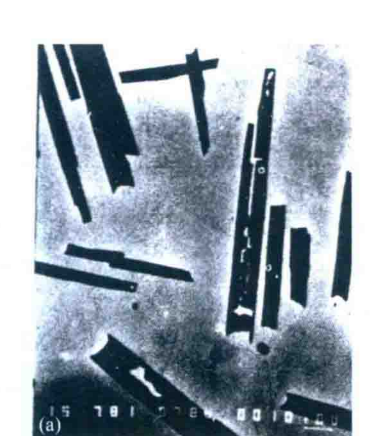
欲进一步了解有关玻璃结构,可参阅文献[3]。

2.3 玻璃的析晶和分相

如上所述,玻璃态物质处于亚稳状态。为降低内能,从热力学角度讲玻璃析晶是必然的。析晶过程包括晶核产生速度和晶核成长速度,两者都与熔体的黏度和温度有关。所以,当熔体降至低温和高黏度时就不容易析晶。调整玻璃成分,可以得到较稳定的玻璃。古代玻璃的主要成分为$Na_2O(K_2O)-CaO-SiO_2$、$Na_2O(K_2O)-PbO(BaO)-SiO_2$及$K_2O(Na_2O)-SiO_2$系统,均含有一定量的$Al_2O_3$。经过多次原料成分和比例的调整,这些玻璃系统趋于稳定。中国古代玻璃的析晶问题,与下列两方面有关。

(1)中国古代玻璃以装饰用为主,主要为仿玉石,要使玻璃半透明,除了在玻璃中含有大量小气泡外,有时含有微小的结晶颗粒,如汉朝的琉璃璧中。在$PbO-BaO-SiO_2$系统玻璃中,BaO含量高时,容易析出二硅酸钡($\beta-BaSi_2O_3$)。如扬州出土的西汉墓玻璃衣片中,从背散射电子图像和X射线图像中观察到条状析晶(图2.6)[4]。这是当时人为的析晶或玻璃经过2 000多年的存放后析出的,还有待于进一步考证。

(2)古代玻璃经过长时间与环境的相互作用,形成风化层。在风化过程中水解氧化反应起重要作用[5]。对含有碱金属氧化物的玻璃,水解氧化反应尤为突出。风化与玻璃器所处的环境、水文地理条件及玻璃成分有关。如唐代李寿墓葬玻璃瓶为$Na_2O-PbO-SiO_2$系统



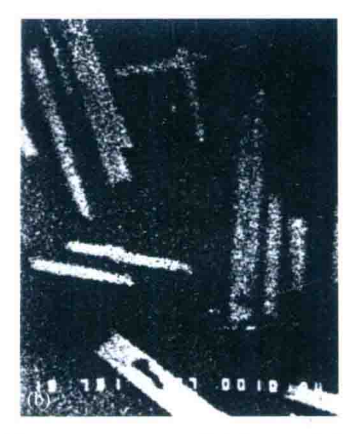
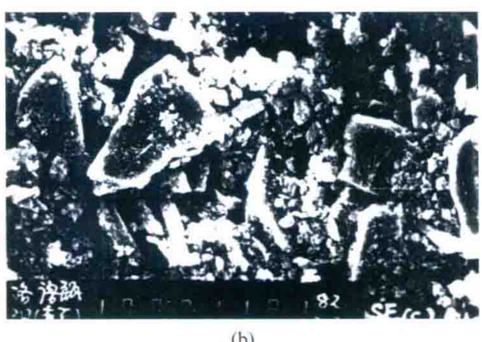


图2.6 β-$BaSi_2O_5$小晶体在PbO-BaO-SiO_2玻璃中（扬州西汉墓出土的玻璃衣片）
（a）背散射电子图像；（b）X射线图像





(a) (b)

图2.7 陕西三原出土的唐代玻璃瓶的表面风化层形貌
（a）条痕形貌（100×）；（b）微粒显微结构（1 000×）

玻璃，经风化后表面呈彼此平行的风化条痕，放大后可以看到有许多完整规则的多面结晶体，见图2.7。经检验，这些结晶体可能是碳酸铅（$PbCO_3$）或水化碳酸铅[$Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$]。风化过程可能为经过水解氧化后，钠离子（Na^+）被析出，硅氧键受断裂，铅离子（Pb^{2+}）与外界二氧化碳与水汽作用形成碳酸铅或水化碳酸铅。

玻璃的分相为玻璃体中含有两种不同化学成分的玻璃相，其中有一种玻璃相以很小的颗粒处于另一连续的玻璃相中，整个玻璃体呈乳白色。这一现象与日常碰到的如水和油经过剧烈搅拌而形成的乳白色液体类似。对于铅硅酸盐玻璃（PbO-SiO_2），当PbO含量很高时，可能出现分相。电子显微镜照片见图2.8，其中小圆球状为含SiO_2高的玻璃点滴处于PbO含量高的连续玻璃相中[6]。钠钙硅酸盐玻璃（Na_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2）一般不易分相。有时采用分相剂，如氟化钙（CaF_2）、氧化锑（Sb_2O_3）、氧化硼（B_2O_3）等，促使其分相。中国唐代（7世纪—10世纪初）的乳白色玻璃曾采用萤石（CaF_2）与NaF为分相剂制备，西方到19世纪才采用萤石作乳白剂，因此认为早于西方[7]。

瓷釉（glaze）也是玻璃态物质，中国的瓷釉经常用结晶和分相来调节瓷釉的色彩和可视度。中国瓷釉的主要成分为K_2O（Na_2O）-CaO（MgO）-Al_2O_3-SiO_2，钧窑瓷釉是通过分相成

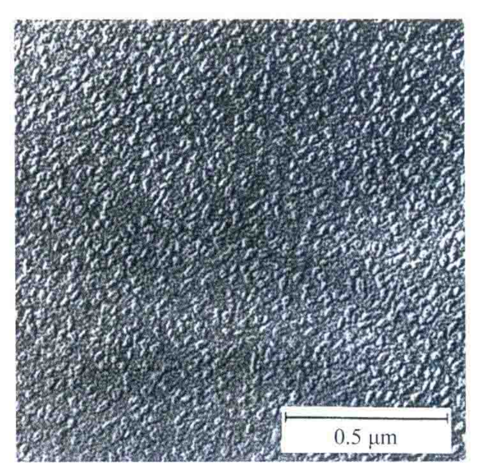


图2.8　含PbO高的$PbO-SiO_2$玻璃的电子显微镜照片

0.2 μm

图2.9　浅红钧窑瓷釉的高分辨率透射电镜照片

为乳白色，图2.9为瓷釉的高分辨率透射电镜的照片，可以看到球状的点滴[8]。制备精美多彩的瓷釉过程中，经常利用析晶和分相产生的不均匀颗粒的光散射现象。关于瓷釉中的结晶和分相，在以后章节中会更详细叙述。

2.4　玻璃的着色

颜色玻璃从古到今一直受人们的青睐，在当今玻璃领域中还是很重要的。关于玻璃的着色机理在近二三十年才研究得比较清楚一些，已在专门的文献[9]中做了详细介绍。这里，主要围绕中国古代颜色玻璃和瓷釉作一些基本知识的介绍。古代玻璃的着色一般都靠添加进去过渡金属元素，如铁（Fe）、锰（Mn）、钴（Co）、镍（Ni）、铬（Cr）、铜（Cu）等，在玻璃中都以离子状态存在，而这些都是变价离子，玻璃的着色由离子的价态决定，因而控制玻璃熔化气氛（氧化或还原）就十分重要。表2.1列举了不同价态的过渡元素离子与相应的颜色，其中Co^{2+}、Ni^{2+}和Cu^{2+}的颜色还取决于基质玻璃的化学成分，即玻璃的酸性或碱性也影响它们的颜色。括弧内的颜色指碱性玻璃而言。

表2.1　过渡金属离子（TM）的价态和相应的颜色

离　子	颜　色	离　子	颜　色
Cr^{3+}	绿色	Fe^{2+}	浅黄绿色
Cr^{6+}	黄色	Ni^{2+}	紫色（黄色）
Mn^{3+}	紫色	Cu^{2+}	天蓝色（绿色）
Mn^{2+}	粉红	Cu^{+}	无色
Co^{2+}	蓝色（紫色）	Cu^{0}	红色
Fe^{3+}	绿色		

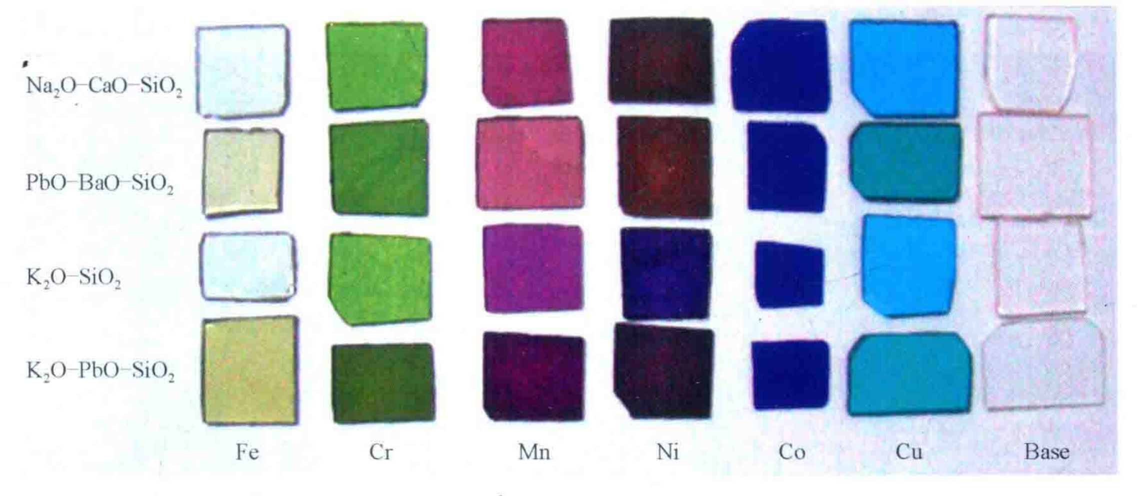


图2.10 过渡金属离子掺杂的各古代玻璃系统模拟样品的颜色图

干福熹团队曾在实验室中模拟过渡金属离子掺杂的若干古代玻璃系统（$PbO-BaO-SiO_2$、K_2O-SiO_2、$K_2O-PbO-SiO_2$和$Na_2O-CaO-SiO_2$）的着色机理，所得的各种样品和颜色如图2.10所示。宏观看来，同一着色离子在各系统玻璃中的颜色相差不多，但从色度学的标定结果（表2.2），可以发现它们的区别[10]。其中主波长（或补色波长）为实际观察到的颜色的色调，刺激纯度为颜色接近于主波长的程度[11]。

表2.2 CIE1931标准色度学计算结果

着色元素	基　质	色度X	坐标Y	主波长 λ (nm)	刺激纯度	
					$P_{e,x}$	$P_{e,y}$
Fe	$Na_2O-CaO-SiO_2$	0.313	0.337	555.27	0.023	0.023
Fe	$PbO-BaO-SiO_2$	0.324	0.353	567.68	0.100	0.010
Fe	K_2O-SiO_2	0.314	0.335	559.88	0.020	0.019
Fe	$K_2O-PbO-SiO_2$	0.337	0.376	568.48	0.199	0.199
Mn	$Na_2O-CaO-SiO_2$	0.348	0.321	−494.37	0.122	0.121
Mn	$PbO-BaO-SiO_2$	0.341	0.329	610.18	0.081	0.068
Mn	K_2O-SiO_2	0.326	0.295	−525.31	0.069	0.069
Mn	$PbO-K_2O-SiO_2$	0.349	0.282	−508.66	0.120	0.120
Cr	$Na_2O-CaO-SiO_2$	0.383	0.512	565.42	0.708	0.709
Cr	$PbO-BaO-SiO_2$	0.408	0.532	567.55	0.837	0.837
Cr	K_2O-SiO_2	0.367	0.467	565.66	0.538	0.538
Cr	$K_2O-PbO-SiO_2$	0.441	0.536	570.78	0.939	0.939
Cu	$Na_2O-CaO-SiO_2$	0.237	0.297	486.15	0.302	0.303
Cu	$PbO-BaO-SiO_2$	0.250	0.330	491.56	0.228	0.229

（续表）

着色元素	基　质	色度X	坐标Y	主波长 λ（nm）	刺激纯度	
					$P_{e,x}$	$P_{e,y}$
Cu	K_2O-SiO_2	0.252	0.304	486.39	0.246	0.244
Cu	$K_2O-PbO-SiO_2$	0.262	0.329	491.33	0.186	0.179
Co	$Na_2O-CaO-SiO_2$	0.192	0.162	470.97	0.629	0.628
Co	$PbO-BaO-SiO_2$	0.190	0.153	470.03	0.649	0.649
Co	K_2O-SiO_2	0.175	0.148	472.32	0.704	0.704
Co	$PbO-K_2O-SiO_2$	0.170	0.125	470.09	0.755	0.755
Ni	$Na_2O-CaO-SiO_2$	0.391	0.399	578.43	0.415	0.415
Ni	$PbO-BaO-SiO_2$	0.382	0.389	578.82	0.361	0.361
Ni	K_2O-SiO_2	0.296	0.277	−563.90	0.196	0.194
Ni	$PbO-K_2O-SiO_2$	0.356	0.340	593.71	0.151	0.149

玻璃着色的另一种方法为引入中性的金属微粒，尺寸在纳米量级。它是靠玻璃中的金属离子在强还原性气氛下还原而成金属纳米颗粒，常用的是银（Ag）、金（Au）和铜（Cu）。图2.11表示了银-黄、金-红、铜-宝石红玻璃的吸收光谱。玻璃的颜色也与掺入的金属颗粒的尺寸有关，从当前的理论解释为量子尺寸效应。表2.3列举了金颗粒的大小与所形成的颜色的关系。金属颗粒的大小是由热处理条件（温度、保持时间等）来控制的。

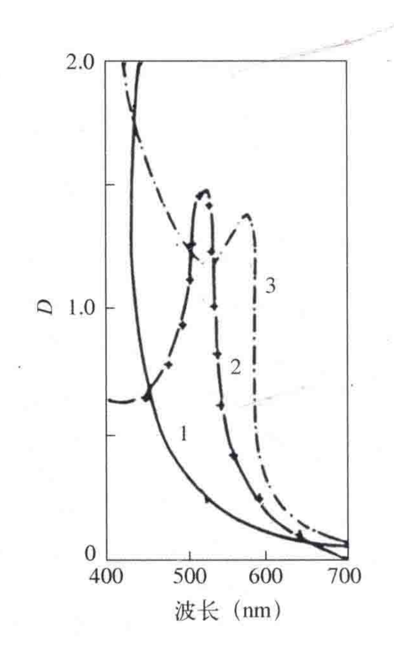


图2.11　金属微粒在玻璃中的吸收光谱
1—银-黄；2—金-红；3—铜-宝石红

表2.3　玻璃中金颗粒大小与相应的玻璃颜色

金颗粒大小（nm）	相应的颜色
4~10	粉红
15~75	红色
75~100	暗红色
100~170	棕红色

中国先秦和汉出土的古代玻璃大部分带浅绿色，这是由于原料中的铁杂质引起的。从西周开始已用钴的矿物和铜的矿物（四硅酸钡铜）在陶器和玻砂器上形成蓝色着色。西方玻璃制造中，使用着色剂是很早的。公元前250年前在美索不达米亚（Mesopotamia）出土的颜色玻璃中已含有CoO、MnO、CuO（Cu_2O）形成钴蓝和铜红的颜色玻璃。由钴形成蓝色或深蓝着色在汉代的古代玻璃中已有发现，可见着色剂的应用在中国古代还是比较早的。应用铜原子（Cu^0）在玻璃中形成鲜红的着色，最早起源于宋代。明、清期间（15—18世纪），用Co^{2+}

的深蓝着色和Cu^0的鲜红着色、Ag^0的黄色以及Fe^{3+}和Cu^{2+}的绿色，制备大量的套色琉璃和浮雕（cameo）、制成花瓶和鼻烟壶等。

在明、清时期利用分相和结晶着色已产生不少的新型着色玻璃，如金红、银黄和钴蓝等，图2.12为山东淄博地区生产的玻璃花瓶。



图2.12 山东淄博地区生产的玻璃花瓶
从左到右依次为：红-黄双套色花瓶、乳白-绛红双套色花瓶、鸡油黄花瓶

参考文献

[1] 章鸿钊.石雅[M].上海：商务印书馆，1937.
[2] 干福熹，黄振发，肖炳荣.我国古代玻璃的起源问题[J].硅酸盐学报，1978，12(6)：99-104.
[3] 干福熹.现代玻璃科学技术：上册[M].上海：上海科学技术出版社，1988：1-25.
[4] Li Jiazhi, Chen Xianqiu. A study on West Han PbO-BaO-SiO_2 glass and its corroded layer unearthed at Yang Zhou[J]. J. of Wuhan University of Technology, 1988(1): 1-9.
[5] 干福熹，等.光学玻璃[M].北京：科学出版社，1964: 64-68，194-198.
[6] Vogel Werner. Glass chemistry[M]. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1994: 161.
[7] Werner A E, Binson M. Some opacifying agent in oriental glass[J]. Adv. Glass Tech., 1972(2): 303.
[8] Li Jiazhi, Gan Fuxi. Coloration of ancient Chinese glasses and glazes[C]//Proceedings of XVII International Congress on Glass. Beiijing: Chinse Ceramic Society, 1995(1), invited lectures: 66-76.
[9] 干福熹.玻璃的光学和光谱性质[M].上海：上海科学技术出版社，1992：201-219.
[10] 段浩，干福熹，赵虹霞.实验室模拟过渡金属离子掺杂的中国古代玻璃的着色现象研究[J].硅酸盐学报，2009，37(12)：1982-1989.
[11] 束越新.颜色光学基础理论[M].济南：山东科学技术出版社，1981.

第3章 无损分析技术的发展及在中国古代玻璃研究中的应用

干福熹

中国古代玻璃是中国物质文化遗产的重要材料之一。文物是不可再生的，检测它的方法应该是无损的。测试中国古代玻璃最重要的特征，是它们的结构状态以及化学成分。前者是与晶态宝玉石相区别，早期的古代玻璃是仿玉的，包括半透明的礼器，如玉璧等。现在大部分鉴别还是停留在靠眼睛的观察，会产生很大的误差。目前可以用X射线衍射（X-ray diffraction，XRD）分析技术或用红外和激光拉曼光谱分析（laser Raman spectroscopy, LRS）技术，精确判断是否玻璃态物质，而且这两类方法目前都可以做到无损分析的测试。

20世纪70年代前中国古代玻璃的化学成分分析都用湿法的化学方法，当然这种取样和分析过程皆为有损的，而且精度低和能分析出的元素少。多元素分析常采用原子发射光谱法（atomic emission spectrometry，AES），要做到无损分析，样品的采集方法要作较大的改进。X射线荧光光谱分析（X-ray fluorescence spectrometry，常简称为XRF）近10年来在分析精度上和可携带作原位分析方面有很大的改进和发展。本章侧重介绍应用于中国古代玻璃研究的诸方法，关于古代玻璃的分析技术基础的介绍，参见文献[1]。

3.1 激光拉曼光谱分析和原子发射光谱分析

3.1.1 激光拉曼光谱分析（LRS）

当一束光照射到介质上，绝大部分的光被介质反射、吸收或透过，只有一小部分被介质向四面八方散射。散射有两种不同的现象：一种是散射光与入射光的频率相同，这种散射称为瑞利（Rayleigh）散射。另一种是散射光与入射光频率不同，这种散射称为拉曼散射。散射光的频率低于入射光的频率，称为斯托克斯（Stokes）散射；散射光的频率高于入射光的频率，称为反斯托克斯散射（anti-Stokes）。拉曼散射光相对于入射光频率的改变量称为拉曼位移。拉曼位移反映了分子振动与转动，因此从拉曼光谱中可以得到分子振动能级与转动

能级结构的信息。对特定的物质而言，它有一系列特征拉曼振动光谱，由此可以从分子水平研究物质的结构及分析鉴定。

玻璃态物质由于结构上只有近程有序而远程无序，所以区别于晶态物质。拉曼光谱只有弥散的拉曼峰值（图3.1），缺乏细致的拉曼谱线，所以可作为鉴别玻璃态物质的良好标记。表3.1列出古代玻璃的几种主要基质的拉曼光谱峰值。

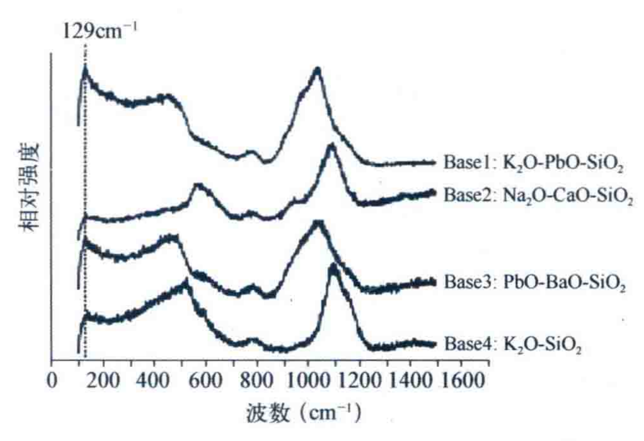


图3.1　古代玻璃的几种主要基质玻璃的拉曼光谱[2]

表3.1　古代玻璃的几种主要基质玻璃的拉曼振动峰的波数[2]　（cm^{-1}）

编　号	低 频 区	中 频 区	高 频 区	玻 璃 系 统
Base1	455（M）	781（W）	1 041（S）	K_2O–PbO–SiO_2
Base2	570（M）	776（W）	1 093（S） 949（S）	Na_2O–CaO–SiO_2
Base3	473（M）	779（W）	1 045（SH）	PbO–BaO–SiO_2
Base4	521（M） 591（SH）	776（W）	1 103（S）	K_2O–SiO_2

注：W—weak，弱峰；M— medium，中等强度；S—strong，强峰；SH—shoulder，肩峰。

从图3.1可以看出，高频区的拉曼信号最强，拉曼峰由晶体拉曼谱中的窄线宽化成拉曼带。低频区的拉曼信号具有中等强度，在Base1、Base3和Base4的谱线上叠加有荧光基线。所有样品中频区的拉曼信号均很弱，一般认为该峰只有在SiO_2含量较高（＞60%）时才存在，基质玻璃的SiO_2含量在65%以上，可以观察到~780 cm^{-1}峰。Base2高频区主峰附近存在肩峰，位置是949 cm^{-1}。在含PbO的Base1和Base3玻璃中，129 cm^{-1}附近存在明显的峰，而Base2和Base4玻璃中没有。

21世纪以来，共焦显微技术在拉曼技术中得到广泛应用，共焦显微技术可以有效排除来自焦平面之外的其他信号的干扰，从而具有更高的纵向分辨率。利用共焦显微拉曼光谱仪可以得到样品体积小和不同深度的光谱信息。干福熹团队初期采用复旦大学分析测试中心的法国Horiba Jobin Ycon 公司生产的L-bRam-1B型共焦显微拉曼光谱仪，以后使用英国雷尼绍公司推出的Renishaw inVia型共焦显微拉曼光谱仪，包括488 nm、785 nm和632 nm三种激发波长。图3.2展示了其内部结构。实验参数如下：氩离子激光器（488 nm），额定功率19.8 mW，采用100倍物镜时，光束作用面积0.6 μm^2；半导体激光器（785 nm），额定功率313 mW，采用100倍物镜时，光束作用面积2 μm^2；物镜可选100倍、50倍、20倍、5倍；光栅常数为1 200 l/mm和1 800 l/mm；超低噪声CCD探测器；测量误差 ±0.2 cm^{-1}；每次测定样







图3.2 Renishaw inVia型共焦显微拉曼光谱仪内部结构
(a)主机;(b)远程探测光纤探头;(c)大光路水平方向物镜

品前均应采用单晶Si标样分别对两个波长的激光拉曼光谱进行校正。在本研究中扫描各样品时一般采用物镜50倍,扫描时间10 s,信号采集次数1次。该仪器灵敏度远高于其他同类拉曼光谱仪,仪器精度和重复性比同类仪器高一个数量级。该仪器不仅可一次性连续扫描大范围的拉曼光谱,而且还可以连续调节共焦深度,光通量和稳定性也较高。



图3.3 i-RamanTM BWS415-785S-PRB 型便携式近红外拉曼光谱仪

为了进行原位无损分析,就要有便携式的激光拉曼光谱仪。近年来干福熹团队进口了光纤激光拉曼光谱仪设备,型号i-Raman,图3.3展示了其外观。在这个设备上进行了改进和标定,实现了激光拉曼光谱的原位测试。

在古代玻璃研究中应用现代先进的光纤激光拉曼光谱仪,不仅能快速原位鉴别晶态(玉石)和非晶态(玻璃),而且从硅酸盐玻璃的硅氧四面体

[SiO_4]之间的连接程度大小，可以区别外来的古代钠钙硅酸盐玻璃和中国自产的铅钡硅酸盐玻璃[2]。

古代硅酸盐玻璃中常常添加乳白剂，如Sb_2O_3、SnO_2等，在玻璃中常生成微晶，古代玻璃长年累月的表面风化也形成微晶，皆可用激光拉曼光谱手段得到识别[3]。

3.1.2 原子发射光谱分析（AES）

最早的原子发射光谱分析是取样破坏分析，取样后溶解成溶液，用电弧及火花快速蒸发原子化，以后采用等离子体的方法，称为电感耦合等离子体的原子发射光谱法（ICP-AES）。干福熹团队早期采用中国科学院上海光学精密机械研究所的IRIS INTREDID全谱直读式等离子体原子发射光谱仪，测定古代玻璃的主量和微量化学成分。其灵敏度高，取样量小（几十毫克），一次能测定的元素种类多（30多种主量和微量成分），但标定、计算手续等复杂一些。

用ICP-AES法最早测定了新疆拜城克孜尔吐尔墓地的玻璃主量和微量成分[4]，玻璃的化学成分见本书附录B.1。确定了为含有Sb、Pb杂质的钠钙硅酸盐玻璃，认为是从西方引入技术，而在当地制备的。

20世纪末出现了激光剥蚀技术（LA），配合原子发射光谱仪后形成LA-ICP-AES，就省去了事先的制备过程，可以直接用固体材料原位分析。LA-ICP-AES能够一次分析元素的数量和准确性，是其他方法难以比较的。近期干福熹团队用北京大学考古文博学院的设备进行了不同时代27块钾硅酸盐玻璃成分分析，进行了玻璃风化前后的主量和微量元素的成分变迁，以及钾硅酸盐玻璃的进一步的分类。

3.2 X射线荧光光谱分析

对于古代文物的成分分析，从湿化学的取样分析到X射线的荧光的物理分析是成分分析迈进了一大步，因为它是无损分析。X射线的荧光产生，是由于在高能束流辐射下，在样品中产生电子-空穴，在再次复合的情况下产生二次辐射荧光。这种二次辐射是样品中元素的特征谱线。这种辐射线的能量范围还是在X射线范围，可以用X射线分光谱仪测定。辐射源可以是质子流、同步辐射光源和硬（高能）X射线源。测试二次X射线的重点不同，可以分为波长色散荧光光谱仪（wave-length dispersive spectrometer，WDS）和能量色散荧光光谱仪（energy dispersive spectrometer，EDS）。

3.2.1 质子激发X射线发射分析（PIXE）

PIXE技术通常采用经加速器加速后的质子束，初始能量为2~3 MeV。轰击古代玻璃样品，使待测物质中原子受激电离，当所形成的内壳层空穴为外层电子填充时，所产生的特征X射线被X射线探测器收集后得到PIXE谱，通过解谱可得到各元素峰面积计数，再用PIXE计算程序得到其各个元素的具体百分比含量[5]。

本实验是在复旦大学现代物理研究所进行的。采用外束PIXE，即将质子束自真空室中经出射窗引出，在大气中对样品的表面层几十微米深度范围进行分析。外束分析有如下主

要优点：① 对于古代玻璃绝缘材料，在真空靶室中会因电荷积累效应使测量麻烦；而放在大气中分析，会因周围空气的电离，使该效应得以克服。② 在大气中分析由于没有真空靶室尺寸的限制，使得实验操作方便，调换样品快速，适合于各种几何形状和大小的样品的测量。

由于质子在空气中的射程很短（3 MeV的质子在空气中的射程为14 cm），所以待测样品与质子束出射窗（薄窗）的距离要尽量小。本实验中使用厚度为7.5 μm，直径为6 mm的Kapton膜来隔离真空与大气。

PIXE的分析灵敏度与实验条件有关。它对大多数元素（周期表中顺序$Z \geqslant 11$）很灵敏，相对灵敏度为10^{-6}~10^{-9}量级，可检测的元素含量下限在10^{-6} g/g。PIXE分析技术对元素含量的测试精度，因样品中元素种类、含量以及具体实验方法的不同会有所差别。综合所有PIXE分析中各参数的精度，PIXE分析中X射线产额的计算精度为2%~5%，当某一元素自身含量较少，并且其X射线在能谱中受到其他元素X射线强峰的干扰时，其分析精度会大大下降。而在一般情况下，PIXE分析技术对元素含量的测试也会受到探测器、束流状况、测量方法等因素的影响，其测量精度没有绝对统一的数值。排除特殊因素的作用，PIXE分析方法的精度一般为3%~5%，若实验条件的选择不合适，精度会下降到大约10%。

采用世界上先进的解谱软件GUPIX 96，对厚靶PIXE进行定量分析。在本工作的计算中，首先将各参量准确地直接输入，然后计算在相同实验条件下测得的标准样品的各成分含量；通过比较计算值与标准值，对输入的参数进行检验和修正，最后用修正后的参数对样品进行定量计算。

厚靶PIXE的定量分析一直是PIXE分析中的难点所在。人们过去在较长一段时间内，主要将PIXE技术应用在薄样品的分析上。直到20世纪90年代，厚靶PIXE分析越来越受到重视，这是因为PIXE应用领域不断扩大，人们发现在大量情况下厚靶PIXE技术的分析是不可缺少的。而且随着离子能量损失、电离截面、质量吸收系数等方面工作的进一步开展，使得厚靶定量分析成为可能。

PIXE分析技术所使用的质子束是由加速器提供的，图3.4、图3.5分别展示质子加速器



图3.4 复旦大学的PIXE实验线的质子加速器部分



图3.5 复旦大学的PIXE实验线的X射线分光设备和探测器部分

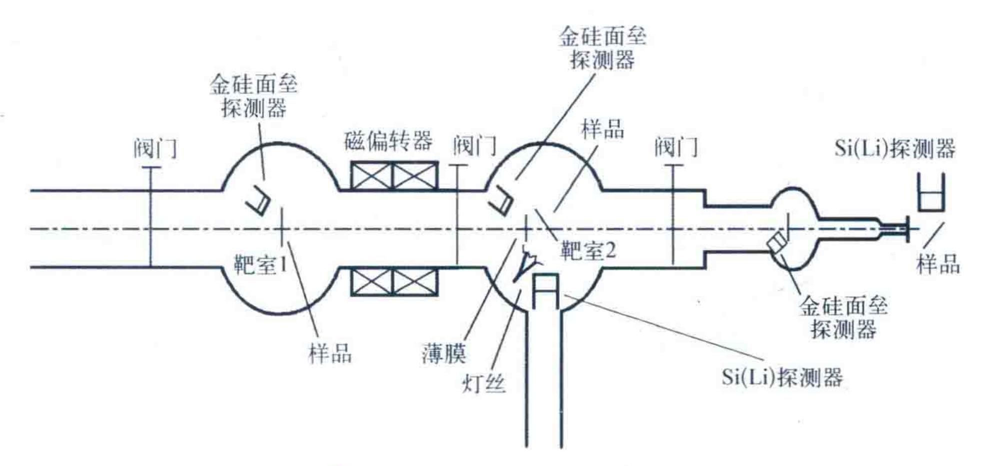


图3.6　外束PIXE分析管道示意图

以及X射线分光设备和探测器部分。干福熹团队实验所采用的是复旦大学加速器实验室NEC 9SDH-2串列加速器。加速器的端电压为0.3~3.0 MV，加速后的离子经磁分析器可以分别进入5根不同功能的管道，见图3.6。

PIXE技术作为一种高灵敏度（通常可达到10^{-6}~10^{-7} g/g）、非破坏性、多元素定量分析的核技术，由于束斑的面积小、样品的需要量小（最低10^{-18} g），可以方便无损地进行古代玻璃的分析。PIXE的探测深度在10~100 μm，横向分辨率3 μm。

20世纪末，当干福熹加盟复旦大学后打算开展中国古代玻璃的科技考古研究时，首先考虑用复旦大学的PIXE设备进行古代玻璃的无损化学成分的分析。因为像这样的大型PIXE实验设备在国内是唯一的，并在实验线上已做过国家级文物越王勾践剑的剑身无损成分分析。PIXE实验装置外景见图3.4、图3.5。在两年多时间内，干福熹团队在与复旦大学近代物理所承焕生教授的团队合作研究中，进行了中国南方和西南等地区的百余件古代玻璃样品的成分分析[5-7]，相关数据见本书附录A.1~A.3。

在进行PIXE方法分析古代玻璃成分中，也发现了PIXE方法的一些应用上的问题，最主要的是PIXE对轻元素不够敏感，以及在外束测试时，还有大气吸收的问题。轻元素Na的含量在古代玻璃研究中十分重要。当时补充用ICP-AES测量。虽然ICP-AES是有损分析，但仅作为校核用。同时对外束PIXE设备做了改进，方法是采用流通的氦气，将待测样品和探测器置于氦气包围之中，使X射线的吸收明显变小，因而可以顺利地探测元素Na、Mg。在此改进的PIXE装置上进行了不少古代玻璃化学成分的测量[8-10]，相关数据见本书附录B.1~B.7。

3.2.2　便携式X射线荧光光谱分析（portable X-ray fluorescence spectrometry，常简称为pXRF）

因为文物不能移动，尤其是测试大件或珍贵的文物时，所以只能使用便携式的装置。开发pXRF装置必须解决三个方面的问题：一是微型X射线源的开发，二是高灵敏的X射线探测器，三是数据分析处理软件。需求的推动，特别在生物医疗方面，使近10年



图3.7 OURSTEX 100FA能量色散型便携式X射线荧光光谱分析仪

中解决了pXRF上述三个方面的基础问题。干福熹团队采用的是日本OURSTEX公司与东京理科大学最近合作开发生产的OURSTEX 100FA新型能量色散型便携式X射线荧光光谱分析仪。该设备已在埃及和土耳其等文物遗址中应用，在中国我们是第一家合作用于古代硅酸盐文物中，作定量的成分分析。图3.7为便携式X射线荧光光谱分析仪器系统全景图。表3.2为在大气中和在真空中测量的仪器的相关参数。

表3.2 便携式X射线荧光光谱分析仪的相关参数

参　数	低真空探测单元	大气探测单元
X射线源靶材	Pb靶	
X射线焦斑直径	2.5~3 mm	
测量模式	连续模式和单色模式	
电压	≤40 kV	
电流	0.05~1.5 mA	
功率	≤50 W	
探测器及制冷方式	SDD, peltier 制冷（－28 ℃）	
窗口材料	AP3.3有机材料	Be窗
测试元素范围	Na~U	Mg~U
测试环境	低真空，400~600 Pa	大气
样品室尺寸	ϕ20 cm×（15~45）cm	无限制
测试时间	300 s（可调）	

干福熹团队针对定量分析的应用目标，进行了一系列的基础性工作和仪器应用研究，如建立了兴趣组分及元素的工作曲线、对比了工作曲线法和偏最小二乘回归分析法，以及分析了表面风化与测量误差等[11]。干福熹团队对陕西法门寺地窖出土完整的12件玻璃器的化学成分进行了分析。得到不论是典型的伊斯兰饰型玻璃器，还是中国式的茶具，皆为钠钙硅酸盐玻璃成分，说明其皆为引进的。干福熹团队在现场测试了江苏鸿山越墓出土的琉璃釉盘蛇玲珑球型釉陶，测得釉的化学成分为铅钡硅酸盐，与中国战国时期自己制造的铅钡硅酸盐玻璃一致，这点对于中国早期硅酸盐文物研究十分重要。

应用pXRF设备系统，研究了新疆出土的早期古代玻璃器皿的残片和整器以及在广西合浦原位分析了中国早期钾硅酸盐玻璃化学成分[12]。

pXRF技术联合拉曼光谱和扫描电镜技术，研究了含锑、锡乳蚀剂的使用工艺和历史，成为研究中国古代玻璃的另一方面的佐证。

pXRF和光纤拉曼光谱仪组合，可以用作古代玻璃主体原位快速化学成分的无损分析。近两年来干福熹团队用这种无损分析系统分析测试了大批古代玻璃样品，从而为进一步研究提供了各地区古代玻璃成分分析的数据[13-17]。详细的各种古代玻璃化学成分分析结果，见本书附录C.1~C.7。

3.3 微量元素分析和同位素分析

古代玻璃是人工合成和制备的材料，要分析古代玻璃的溯源即原材料和工艺处理过程，有可能从微量元素分析和同位素的差异来获得。除了提高上述X射线荧光光谱等测试精度外，也可以从新的物理测试方法中寻找。这里介绍两种方法，即质谱仪法和同位素分析法。虽然目前它们的无损分析方法还未成熟，但已引起人们的关注和重视。

3.3.1 质谱仪法（Mass spectrometer）

从20世纪80年代电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）被创建后，90年代ICP-MS系统与激光剥蚀（LA）系统联用，进入了商品市场。LA-ICP-MS对于固体的直接微量、痕量分析有着极其重要的作用。

国际上应用质谱仪法研究古代玻璃，还是21世纪的事。Freestone[18]等人利用湿法溶解的ICP-MS方法对一批古代玻璃样品的微量元素进行了分析，通过对比Ga、Rb、Sr、Y、Zr、Ba、La、Ce、Pr、Nd和Th等元素含量，成功区分了埃及和地中海两个制造中心生产的玻璃。Shortland[19]等人利用LA-ICP-MS法对青铜时代晚期埃及和美索不达米亚地区玻璃进行了元素分析，通过一些与着色剂不相关的元素（Sc、Ti、V、Cr、Sr、Zr、Ba、La、Ce和Th）对比，很好地区分了来自两地的玻璃。这些元素差异代表了两个地区原材料来源的差异，而不是配方工艺造成的影响。

最近干福熹团队用辉光放电质谱法（GD-MS）和LA-ICP-MS研究了一批古代玻璃样品，通过微量元素的含量和特征，去了解原料来源和工艺性质。斯琴毕力格[20]等人则利用LA-ICP-MS方法研究了一批广西出土的汉代钾玻璃，发现不同亚类的钾玻璃，其Rb/Sr比有显著不同，且首次发现广西钾玻璃中Rb元素含量主要和Al有关联，而不是以往所认为的和K元素相关。对过渡金属元素的分析，确定了这些钾玻璃的着色剂有金属铜、钴、锰及铁离子等，而且钴着色玻璃中Mn/Co比较高，很可能使用了中国的钴土矿。首次系统分析了钾玻璃中14种稀土元素，确定球粒陨石归一化成稀土元素配分模式图（图3.8）。发现钾玻璃中稀土元素主要与着色剂相关，并且钴着色玻璃Ce的异常十分明显，而且两个地区的玻璃Eu-Gd趋势线显著不同，可作为区分的标志。相比于同位素分析法，LA-ICP-MS法分析玻璃中稀土元素无须处理样品，无须进行长时间辐照，测试效率高，能测出的稀土元素种类更多。

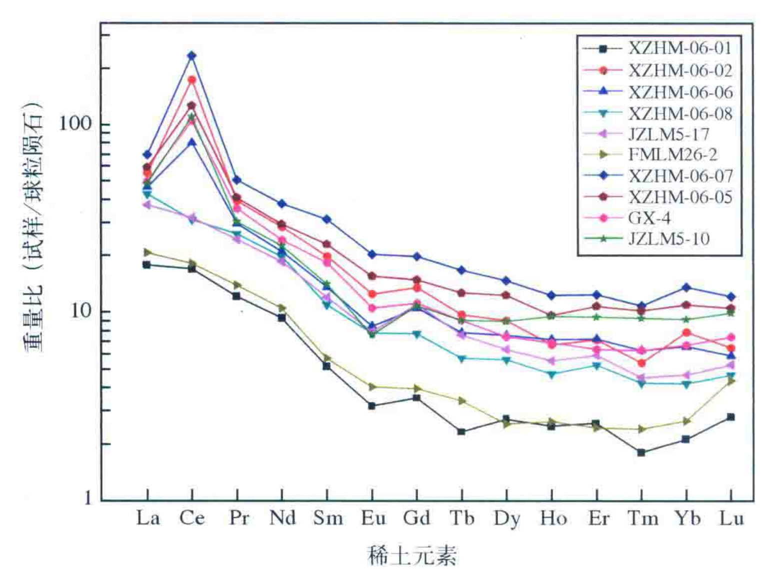


图3.8 古代玻璃样品稀土元素配分模式图

从图3.8可以看出，两个近无色的玻璃样品的稀土元素整体含量较少，其余有颜色的玻璃样品稀土元素含量较高。可以看到其中有6个样品的Ce元素有着非常明显的异常，结合样品情况发现这些样品都是钴着色的样品，含有大量的Co、Mn等元素。JZLM5-17同样有大量的Mn元素，但是并未表现出明显的Ce异常，说明这些玻璃中的Ce异常主要与其使用的钴着色剂有关。如果能得到其他地区钴着色的玻璃来进行稀土元素的比较，可以区分是不是使用了同一来源的钴着色剂。

3.3.2．铅同位素分析法

铅钡硅酸盐玻璃、高铅硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃是具有中国特征的古代玻璃。从铅同位素分析以及比较和其他国家的含铅玻璃的异同，可以判明玻璃及其原料来源。因此有必要研究铅同位素分析，用专门的质谱仪来测量铅同位素含量和比值。

美国康宁玻璃博物馆的R. H. Brill等人[21-22]以及日本名古屋大学山崎一雄等人[23-24]对收藏的约60余种中国古代铅玻璃做过铅同位素分析，认为铅同位素比值，如$^{208}Pb/^{206}Pb$、$^{207}Pb/^{206}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{206}Pb/^{204}Pb$等，不同于西方玻璃，而日本的铅玻璃的铅同位素比值与中国的铅玻璃相似[25]。

对中国出土的早期含铅玻璃已做过铅同位素分析，18种含铅玻璃的铅同位素分析的数据列举于表3.3中。图3.9表示中国战国时期和西汉铅钡玻璃的收藏品和出土样品在铅同位素比值$^{208}Pb/^{206}Pb$与$^{207}Pb/^{206}Pb$的图上的位置。可以看到大部分玻璃集中于$^{208}Pb/^{206}Pb$在2.1~2.2间、$^{207}Pb/^{206}Pb$在0.85~0.90间。有一部分位于低值区域（$^{208}Pb/^{206}Pb$在1.85~1.95间、$^{207}Pb/^{206}Pb$在0.70~0.75间）。图3.10表示了中国唐、宋时期的高铅玻璃和钾铅玻璃的$^{208}Pb/^{206}Pb$与$^{207}Pb/^{206}Pb$的比值，可以看到铅玻璃的铅同位素比值非常集中，即$^{208}Pb/^{206}Pb$处于2.10~2.20、$^{207}Pb/^{206}Pb$处于0.85~0.90，与铅钡玻璃相同。当和西方其他地区古代含铅的文物

制品的铅同位素比值(图3.11)来比较时,可以明显地看到,中国古代铅玻璃居于图的右上角(高值区)和左下角(低值区),与美索不达米亚、埃及、希腊的古代含铅的制品的同位素比值有差别而不相混合。这说明,中国几类含铅玻璃是在中国境内自己制造的。

表3.3　中国古代含铅玻璃的铅同位素

序号	出土地点	年代	器　物	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$	文献
01	陕西宝鸡	西周	料珠碎片	18.12	16.03	0.843 5	2.072 7	[2]
02	湖南长沙	战国时期	深绿色玻璃祭盘、璧的残片	17.55	15.47	0.884 6	2.193 0	[23]
03	贵州江口	战国时期	深绿色玻璃祭盘、璧的残片	17.57	15.53	0.884 0	2.193 9	[23]
04	河北平山县中山王墓	战国时期	绿色透明基体蜻蜓眼玻璃珠	18.11	15.58	0.860 6	2.157 8	[26]
05	河北平山县中山王墓	战国时期	绿色透明玻璃棒	17.66	15.56	0.881 1	2.179 7	[26]
06	广西合浦县环城区2号墓	西汉晚期	蓝色琉璃珠	17.26	15.78	0.895 3	2.178	[27]
07	广西合浦县环城区2号墓	西汉晚期	浅蓝色玻璃管	17.70	15.50	0.875 5	2.147	[27]
08	广西合浦县环城区2号墓	西汉晚期	浅蓝色琉璃碎片	17.74	15.52	0.874 6	2.142	[27]
09	江苏徐州市郊西汉楚王墓	西汉	淡绿色不透明玻璃杯	18.19	15.95	0.876 8	2.190 3	
10	江苏徐州市郊西汉楚王墓	西汉	乳白色不透明玻璃兽	21.59	16.04	0.742 8	1.965 0	
11	江苏徐州市郊西汉楚王墓	西汉	深蓝透明玻璃块	17.91	15.52	0.866 5	2.169 0	
12	广州南越王墓	西汉	浅绿色平板玻璃片			0.889 7	2.190 7	[28]
13	安徽亳县(今亳州市,下同)	164年	黄色玻璃珠	18.59	15.67	0.843 0	2.089 8	[22]
14	陕西	7—9世纪	绿色玻璃瓶	18.02	15.56	0.863 7	2.126 5	[22]
15	河南密县(今新密市,下同)	999年	琥珀色玻璃蛋	17.43	15.43	0.885 4	2.699 3	[26]
16	河南密县	999年	绿色玻璃瓶	18.18	16.01	0.881 0	2.175 0	[26]
17	河南密县	999年	绿色玻璃质釉	17.74	15.72	0.886 4	2.172 3	[26]
18	河北定县	977年	棕色玻璃	17.87	15.58	0.871 7	2.137 1	[28]

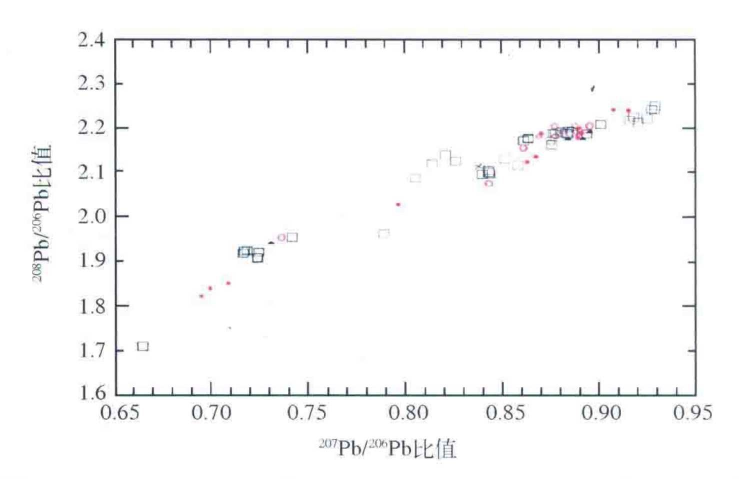


图3.9 战国和西汉发掘和收藏的中国铅钡硅酸盐玻璃的铅同位素比值的分布

●、□、× 收藏的中国玻璃；○ 发掘的中国玻璃；▲ 日本的玻璃

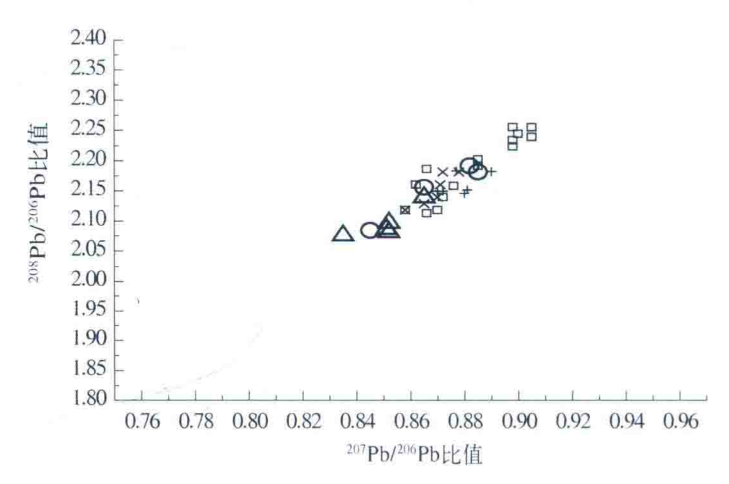


图3.10 唐代和宋代发掘和收藏的中国高铅硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃的铅同位素比值的分布

+出土的中国玻璃[22,26]；○、□、× 收藏的中国玻璃[21,23]；▲ 日本的玻璃[23]

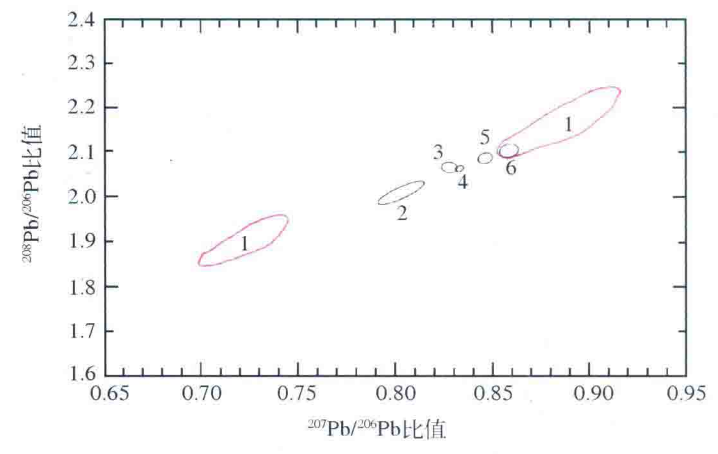


图3.11 世界各地古代含铅制品的铅同位素比值的分布区

1—中国；2—埃及；3—美索不达米亚；4—希腊；5—英国；6—西班牙

中国的铅矿是硫化矿床，以铅锌矿为主。北方的矿区在辽宁、吉林、河北等地，南方的矿区在云贵高原和两广地区，中部的矿区以湖南、江西、安徽为主。根据文献[29]、[30]归纳的中国铅矿的铅同位素比值数据，中国铅矿的铅同位素比值 $^{208}Pb/^{206}Pb$ 与 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 和 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 的分布分别见图 3.12、图 3.13。南方矿的铅同位素比值比北方的高。图上标记了中国出土的古代铅玻璃的铅同位素比值的位置。可以看出中国古代铅玻璃的铅同位素比值的位置皆在中国铅矿的区域内，而且集中在中部。中国最早的铅钡硅酸盐玻璃大多出土于湖南等长江流域，这明显地与该地区有丰富的铅矿密切有关，湖南自古以来盛产铅矿，也是冶铅的中心，有方铅矿和共生的重晶石矿，所以是中国古代铅钡硅酸盐玻璃的主要产地。

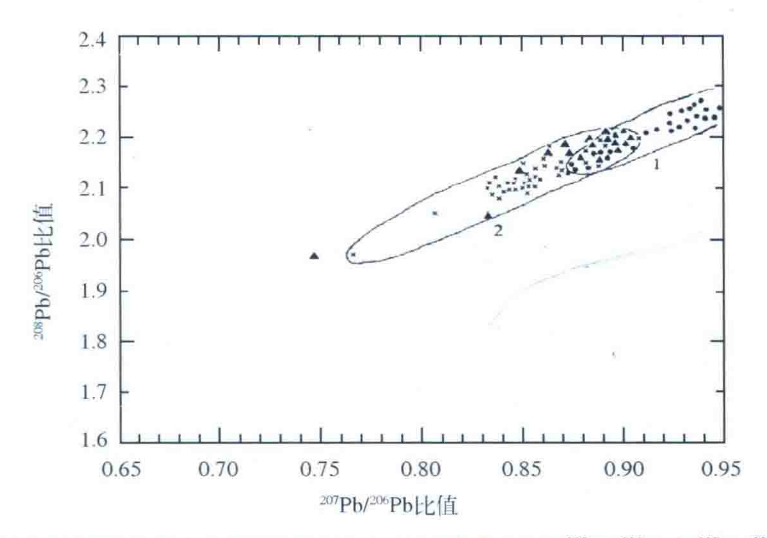


图3.12　中国铅矿和发掘的中国古代含铅硅酸盐玻璃的铅同位素比值在 $^{208}Pb/^{206}Pb$ 与 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 图中的位置

● 北方铅矿；▲ 中国出土的含铅硅酸盐玻璃；× 南方与中部铅矿

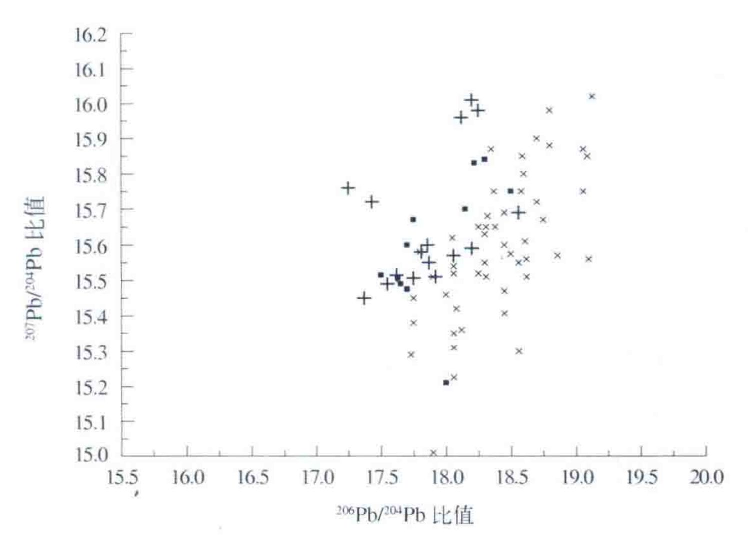


图3.13　中国铅矿和发掘的中国古代含铅硅酸盐玻璃的铅同位素比值在 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 图中的位置

× 南方与中部铅矿；+ 中国出土的古代含铅硅酸盐玻璃；■ 北方铅矿

3.4 无损分析方法应用实例

近10年来中国古代玻璃最重要的发现之一，是在江苏省盱眙市郊大云山江都王陵园1号墓出土的西汉的玻璃磬，形式为模拟石磬。玻璃磬外形和横断面分别见图3.14、图3.15。最大的尺寸为70 cm，厚度4.4 cm，重量达17 kg。这是中外罕见的古代玻璃制品，从外形观察，是用浇铸成型的。

首先用国产的LabRAMXploRa型共焦拉曼光谱仪测试，在磬的内部基质的拉曼光谱曲线见图3.16a，为弥散的拉曼峰，说明是玻璃态物质。在器件表面风化部分测试，则在弥散的拉曼峰上还有小的尖峰，据光谱线分析为$PbCO_3$和$BaSO_4$（图3.16b）。

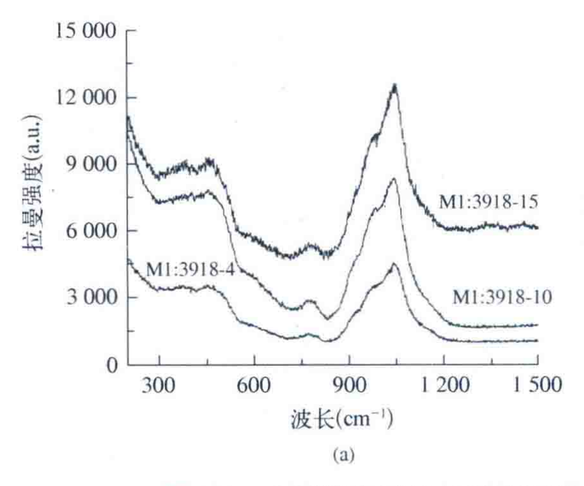
应用手提式的X射线荧光光谱仪（HXRF），测试了风化较轻的玻璃磬。从22个测试点的结果得出，皆含大量的PbO和BaO，玻璃的化学成分变化不大，平均成分见表3.4。PbO的含量变化在30%~40%间，BaO含量变化在10%~15%间。



图3.14 盱眙市郊大云山江都王陵园出土的玻璃磬系列



图3.15 玻璃磬横断面



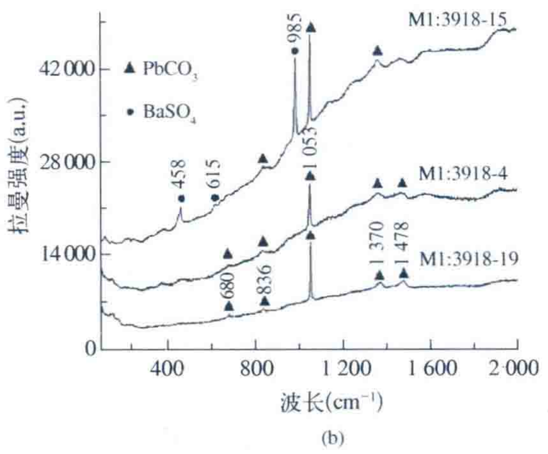


图3.16 江苏省盱眙市郊大云山江都王陵园1号墓出土的西汉玻璃磬的拉曼光谱图
（a）玻璃磬内部基质拉曼光谱图；（b）玻璃磬表面拉曼光谱图

表3.4 用X射线荧光光谱仪测定的玻璃磬的22个测试点的平均化学成分 (%)

SiO_2	Al_2O_3	PbO	BaO	P_2O_5	Fe_2O_3	CuO	CaO	MnO	ZnO	SnO_2	NiO	Cl
47.8	2.3	31.1	13.7	0.2	0.2	0.1	2.4	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	1.4

用配备有能谱仪的扫描电子显微镜(SEM-EDS)和电感耦合的质谱仪(ICP-MS)测试了玻璃碎片样品的化学成分,获得的平均结果为SiO_2、PbO和BaO分别为48%、34%和14%,与上述HXRF结果十分接近。

用多通路收集器电感等离子体耦合质谱仪(MC-ICP-MS),采用微量碎片(10 mg),做了19个样品的铅同位素分析,见表3.5。可以看到测量得到的同位素比值是很接近的。同位素比值$^{207}Pb/^{206}Pb$与$^{208}Pb/^{206}Pb$分别在0.885 6~0.886 1与2.171 6~2.173 6之间。这种同位素比值属于中国北方的铅矿,推测可能这批古代玻璃磬的PbO原料来自中国北方。

从这个实例[38]可以看到,现代无损分析科学手段可以应用于中国古代玻璃的研究,并开拓了发展方向,更新的无损分析方法和更深入的研究还有待于进一步发展。

表3.5 江苏盱眙大云山古代玻璃铅同位素比值

样品编号	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$
M1:3918-2	0.885 8	2.173 6	17.508	15.508	38.055
M1:3918-3	0.885 8	2.173 5	17.499	15.500	38.035
M1:3918-4	0.885 8	2.173 4	17.500	15.502	38.034
M1:3918-5	0.885 7	2.173 2	17.508	15.508	38.049
M1:3918-7	0.885 9	2.173 5	17.499	15.501	38.033
M1:3918-8	0.886 1	2.174 7	17.516	15.522	38.094
M1:3918-9	0.885 6	2.171 6	17.499	15.498	38.001
M1:3918-11	0.885 8	2.172 1	17.497	15.499	38.006
M1:3918-12	0.885 8	2.173 0	17.500	15.501	38.027
M1:3918-10	0.885 6	2.172 4	17.497	15.497	38.010
M1:3918-13	0.885 7	2.172 9	17.498	15.499	38.021
M1:3918-14	0.885 6	2.172 1	17.491	15.489	37.993
M1:3918-15	0.885 8	2.173 0	17.495	15.496	38.016
M1:3918-16	0.885 6	2.172 0	17.488	15.487	37.985
M1:3918-17	0.885 8	2.173 0	17.500	15.502	38.028
M1:3918-18	0.885 6	2.172 1	17.493	15.492	37.997
M1:3918-19	0.885 8	2.173 1	17.500	15.502	38.031
M1:3918-20	0.885 7	2.172 5	17.501	15.500	38.018
M1:3918-21	0.885 6	2.172 6	17.502	15.500	38.024

参考文献

[1] 李青会.玻璃的科技考古和分析技术[M]// 干福熹,等.中国古代玻璃技术的发展.上海：上海科学技术出版社,2005：18-37.

[2] 熊义,赵虹霞,干福熹.阳离子对硅酸盐玻璃激光拉曼光谱特征影响的研究[J].光谱学与光谱分析,2012,32(4)：997-1001.

[3] Zhao Hongxia, Li Qinghui, Liu Song, et al. Characterization of microcrytals in some ancient glass beads from China by means of confocal Raman micro-spectroscopy[J]. J. Raman Spectroscopy, 2013(44): 643-649.

[4] 干福熹,李青会,顾冬红,等.新疆拜城和塔城出土早期玻璃珠的研究[J].硅酸盐学报,2003,31(7)：663-668.

[5] 李青会,张斌,承焕生,等.质子激发X荧光技术在中国古玻璃成分分析中的应用[J].硅酸盐学报,2003,31(10)：39-43.

[6] 李青会,张斌,干福熹,等.一批中国南方出土古玻璃的化学成分的PIXE分析结果[M]// 干福熹.中国南方古玻璃研究：2002年南宁中国南方古玻璃研讨会论文集.上海：上海科学技术出版社,2003：76-82.

[7] Zhang H, Li Y H, Li Qinghui, et al. Nondesrucive analysis of early glass unearthed in South China by external-beam PIXE[J]. J. Radio-analytical and Nuclear Chemistry, 2004, 261(2): 387-391.

[8] 李飞,李青会,干福熹,等.四川地区出土古玻璃的质子激发X荧光分析[J].核技术,2007,10(2)：119-124.

[9] 李飞,李青会,干福熹,等.一批中国古玻璃化学成分的质子激发X射线荧光分析[J].硅酸盐学报,2005,33(5)：582-586.

[10] 李青会,黄教珍,李飞,等.中国出土的一批战国古玻璃样品化学成分的检测[J].文物保护和考古科学,2006,18(2)：8-12.

[11] 刘松,李青会,干福熹.古代玻璃表面对便携式X射线荧光定量分析的影响[J].光谱学和光谱分析,2011,31(7)：1854-1959.

[12] Liu Song, Li Qinghui, Gan Fuxi, et al. Characterization of some ancient glass vessels fragments found in Xinjiang, China, using a portable energy dispersion XRF[J]. Spectrometer, X-ray Spectrometry, 2011(40): 364-375.

[13] Liu Song, Li Qinghui, Gan Fuxi, et al. Application of a portable XRF spectrometer for classification of potash glass beads unearthed from tombs of Han Dynasty in Guangxi, China[J]. X-ray Spectrometry, 2013(42): 470.

[14] Liu Song, Li Qinghui, Gan Fuxi, et al. Silk road glass in Xinjiang, China: chemical compositional analysis and interpretation using a high-resolution pXRF spectrometer[J]. J. Archaeological Science, 2012(39): 2128-2142.

[15] 董俊卿,李青会,干福熹,等.一批河南出土东周至宋代玻璃器的无损分析[J].中国材料进展,2012,31(11)：10-15.

[16] 李青会,董俊卿,苏伯民,等.湖北荆州出土战国玻璃珠的pXRF无损分析及相关问题研究[J].敦煌研究,2013(1)：92-95.

[17] Li Qinghui, Liu Song, Zhao Hongxia, et al. Characterization of some ancient glass beads unearthed from the Kizil Reservoir and Wanguan Cemeteries in Xinjiang[J]. China, Archaeology, 2014(56): 601-624.

[18] Freestone I C, Vandiver P B, Mass J L, et al. The provenance of ancient glass through compositional analysis[C]. 7th Symposium on Materials Issues in Art and Archaeology. Boston: Materials Research

Society, 2005: 195–208.

[19] Shortland A, Rogers N, Eremin K. Trace element discriminants between Egyptian and Mesopotamian Late Bronze Age glasses [J]. J. Archaeol Sci.,2007, 34(5): 781–789.

[20] 斯琴毕力格.玉石及中国古代玻璃微量元素分析[D]. 上海：中国科学院上海光学精密机械研究所，2012.

[21] Barmers I L, Brill R H, Deal E C. 中国早期玻璃的铅同位素研究[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社,1986：36–46.

[22] Brill R H, Shirahata Hiroshi. Lead-isotope analysis of some Asian glasses[C]//Proceedings of 17th International Congress on Glass, Beijing. Chinese Ceramic Society, 1995(6): 491–496.

[23] 山崎一雄，室住正世.中国古代玻璃与日本弥生时代古墓中出土的玻璃之间的关系[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社,1986：47–52.

[24] Yamasaki K, Koezuka T, Shirahata H. Scientific studies on several ancient Chinese glasses[C]//Proceedings of XVⅡ Intern. Congr. Glass, Beijing. Chinese Ceramic Society, 1995(6): 497–502.

[25] Koezuka T, Yamasaki K. Chemical composition of ancient glasses found in Japan — a historical survey[C]// Proceedings of XVⅡ International Congress of Glass, Beijing. Chinese Ceramic Society, 1995(6): 469–474.

[26] Shi Meiguang, Zhou Fuzheng. Some glasses unearthed from a tomb of the Warring States Period[C]// Proceedings of XVⅡ International Congress on Glass, Beijing. Chinese Ceramic Society, 1995(6): 503–506.

[27] 王俊新，等.广西合浦堂排西汉古玻璃的铅同位素示踪研究[J].核技术,1994,17(8)：499–502.

[28] Brill R H. Chemical analysis of early glass[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1999, 2, The table: 460–461.

[29] 陈毓蔚，毛存孝，朱炳泉.我国显生代金属矿床铅同位素组成特征及其成因探讨[J].地球科学，1980(3)：215–229.

[30] 姜中宏，张功远.用铅同位素特征研究中国古代铅(钡)玻璃[J].硅酸盐学报,1998,26(1)：109–113.

第4章　天然玻璃的科学研究

赵虹霞　干福熹　胥真奇

从旧石器时代开始，天然玻璃打击成薄片，作工具和武器用；新石器时代已用作装饰品和礼器。天然玻璃比人工制造的玻璃早千余年，考古发现在如古埃及法老的胸前饰品中有天然玻璃。考古学中把其作为古代人类的迁徙、物质的交换以及文化交流的证据[1]。

从自然界产生和获得的非人工制造的玻璃态材料，主要有以下两类：

（1）火山玻璃（volcanic glass）。为火山爆发喷出岩浆，骤冷下形成，作为天然矿物（mineral）称黑曜石。

（2）陨石玻璃（meteorite glass）。为地球外火流星在外层空间爆炸后熔融冷却，以玻璃陨石雨落下，或陨石与地面冲击后熔融，溅飞后落下，矿物名为玻陨石。

陨石玻璃在中国古代俗称“雷公墨”，作辟邪之用。早在1 000多年前，唐代学者刘恂在《岭表录异》中描述道：“雷州骤雨后，人于野中，得石如石，谓之雷公墨，扣之铮然，光莹可爱”。陨石玻璃当前作为宝石的一类，为稀少的宝石收藏。

具有科学意义的是研究在特殊情况（高速冲击、核爆炸）下生成的玻璃态材料，并在20世纪80年代兴起了研究天然玻璃的高潮。这和核爆炸的条件下生成的特殊物质，以及研究外星的地质条件密切相关。

玻陨石和黑曜石内部结构都是玻璃态，所以将这两者统称为天然玻璃。长期以来人们都将这两种天然玻璃当作宝石来欣赏和收藏。大多数玻陨石的形状与熔融溅射物形状相似，有球状、哑铃状、液滴状、纽扣状和不规则块状等；而黑曜石表面则相对光滑。所以，在一定程度上可以从形貌来区分这两类天然玻璃，但是仅仅从形貌上还不能准确地区分两者。

研究天然玻璃需要有一些特殊的条件：作为天然形成的玻璃，要在全世界寻找样品；作为稀有的宝石，不能取样分析破坏了样品，要用特殊的设备作无损分析；要联系地质、天文等各部门开展相互的合作。

4.1 实验样品与方法

4.1.1 主要采用的实验方法和设备

(1) 用改装过的可携带式X射线激发的发光仪(pXRF,型号OURSTEX 100FA),测量样品的化学成分(主量、杂质和微量元素)[2]。

(2) 用X射线衍射仪(型号Rigaku ultima IV),标定样品的矿物相。

(3) 用可携带式的拉曼光谱仪(型号LabRAM XploRA),测定样品的物质结构。

(4) 用带能谱仪的扫描电镜和高倍透射电镜,作微区成分和表面形貌分析。

(5) 用质子激发的X射线发光仪以及原子发射光谱仪,作微量、痕迹和同位素分析。

4.1.2 测试样品

如前所述,玻陨石与黑曜石的外形是有区别的。仅仅从形貌上还不能准确地区分两者,还需要从物质结构和化学成分上来区分这两种天然玻璃。测试样品的外形见图4.1,样品的宏观外形数据见表4.1。



图4.1 天然玻璃样品的外形(a、b)

表4.1 天然玻璃样品信息表

样品编号	名 称	地 点	描 述
B–1	玻陨石	中国广西	长4 cm,宽2 cm,两个光滑表面周围带有很多浅坑
B–2	玻陨石	中国广东	长4 cm,宽2 cm,表面粗糙,有很多腐蚀坑

（续表）

样品编号	名　称	地　点	描　述
B-3	玻陨石	澳大利亚	长5 cm，直径0.5 cm，哑铃状，表面粗糙，有很多沟槽
B-4	玻陨石	中国海南	长3 cm，宽2 cm，台阶状，表面粗糙，有很多腐蚀坑
B-5	玻陨石	澳大利亚	长6 cm，表面粗糙，有很多腐蚀坑
B-6	玻陨石	澳大利亚	长8 cm，哑铃状，表面粗糙，有很多沟槽
B-7	玻陨石	中国海南	长6 cm，表面粗糙，有很多沟槽
B-8	玻陨石	中国海南	长8 cm，表面粗糙，有很多沟槽
B-9	玻陨石	罗马尼亚	长8 cm，宽5 cm，表面粗糙
B-10	玻陨石	中国海南	长9 cm，直径3 cm，表面粗糙，有很多沟槽
H-1	黑曜石	墨西哥	长3 cm，宽2 cm，表面光滑，形状不规则
H-2	黑曜石	墨西哥	长3 cm，黑色基底带有白色雪花状斑点，表面光滑，形状不规则
H-3	黑曜石	美国夏威夷	长3 cm，宽2 cm，表面光滑，形状不规则
H-4	黑曜石	墨西哥	高10 cm，宽3.5 cm，手工艺品
H-5	黑曜石	澳大利亚	长6 cm，宽2 cm，箭镞状
H-6	黑曜石	墨西哥	长6 cm，宽3 cm，猫形
H-7	黑曜石	中国黑龙江	长7 cm，宽5 cm，蛋形

4.2　天然玻璃质地上的区分

天然玻璃是非晶态物质，而大多数玉石为多晶态。非晶态物质由于原子或离子的排列是远程无序，所以在拉曼光谱和X射线衍射（XRD）谱上没有尖锐的峰（图4.2）。反之，玉石样品有明显和尖锐的峰，并且根据谱峰的位置，可以确定它的矿物相（图4.3）。样品提供单

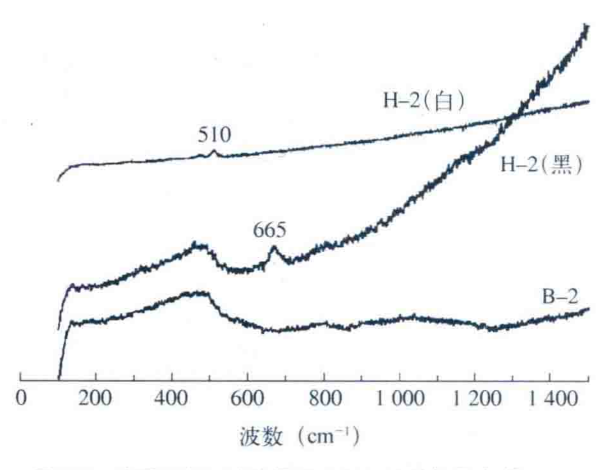


图4.2　玻陨石（B-2）和黑曜石（H-2）的拉曼光谱图

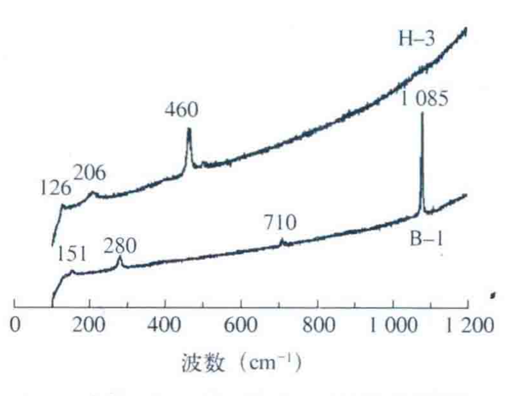


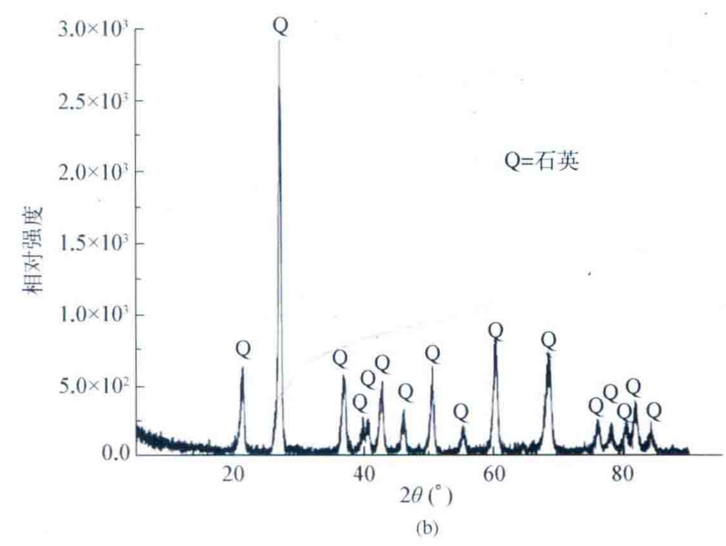
图4.3　方解石（B-1）和燧石（H-3）的拉曼光谱图

位称之为广西玻陨石的B-1样品，其实为方解石（calcite）矿石，含有石英杂质；而称之为澳大利亚黑曜石的样品H-3，其实为燧石（flint）矿物（一种石英岩的微晶体），见图4.4。所以，这就比较容易把天然玻璃和其他多晶矿石区别出来。

天然玻璃是在地质环境剧烈变化时在高温下迅速生成，它们的玻璃相是均匀的。图4.5显示了黑曜石和玻陨石的高倍透射电镜的晶格像，红色标记线为2 nm，所以有序排列的晶格尺寸在1 nm以内不存在晶体微粒，玻璃相是均匀的。

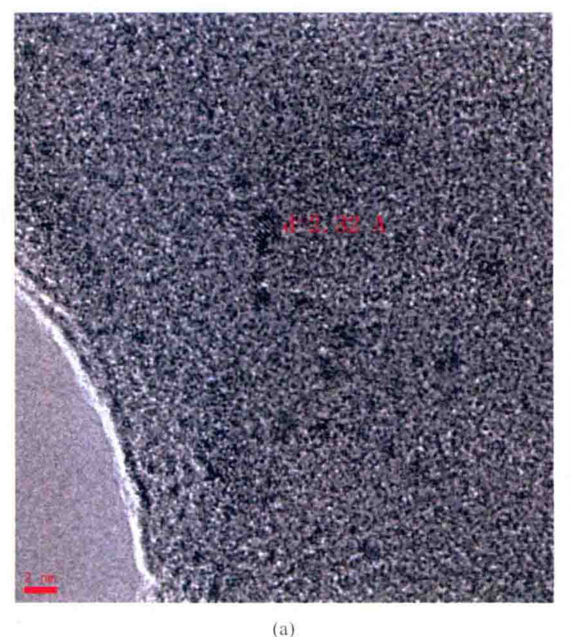


(a)

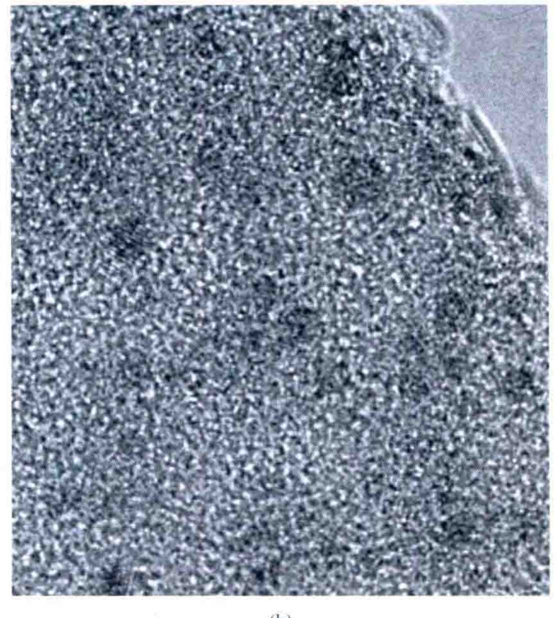


(b)

图4.4 燧石（a）的XRD图（b）



(a)



(b)

图4.5 黑曜石（a）和玻陨石（b）的高倍电镜的晶格像

4.3 天然玻璃的pXRF实验结果

表4.2、表4.3列举了用pXRF方法测定天然玻璃的化学成分，可以清楚地看出，除了B-1样品为方解石和H-3样品为燧石、其化学成分显然不同之外，其余玻陨石和黑曜石皆为铝硅酸玻璃（alumo-silicate glass）。两者化学成分有明显区别的是，玻陨石中碱金属氧化物（Na_2O+K_2O）含量低、碱土金属氧化物（MgO+CaO）含量高，而黑曜石玻璃却相反。同时玻陨石中Fe的含量比黑曜石高得多。这样可从化学成分上区别两者[3]。pXRF是一种无损、快速的分析方法，特别适用于天然玻璃这种结构相似的物质。因此，其在宝石的化学成分分析中具有其他方法无法比拟的优势。

表4.2 黑曜石天然玻璃样品的pXRF化学成分分析结果 (%)

样品编号	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	Al_2O_3	FeO	SiO_2	TiO_2	MnO_2	BaO	P_2O_5	R_2O/RO
H-1	4.92	5.25	0.55	0.42	14.08	1.27	72.65	0	0.07	0.32	0.37	10.48
H-2（白）	3.65	6.87	0.49	0.72	13.97	1	72.28	0	0.09	0.31	0.56	8.69
H-2（黑）	6.70	2.60	0.40	0.53	13.89	1.14	73.51	0	0.09	0.29	0.77	10.00
H-3	0.95	0.29	0.17	0	1.21	0	95.3	0	0	0.15	1.77	—
H-4	5.29	4.96	0.34	0	11.55	3.55	73.22	0.18	0.11	0.12	0.42	30.15
H-5	5.21	5.26	0.43	0.06	12.58	2.50	72.93	0.14	0.07	0.26	0.32	21.37
H-6（黑）	4.16	6.66	0.84	0.74	16.52	0.94	69.43	0.06	0.08	0	0.57	6.85
H-6（白）	5.59	4.15	0.71	0.66	16.83	0.98	70.43	0.04	0.08	0	0.54	7.11
H-7	6.06	4.91	0.63		14.30	2.93	70.08	0.27	0.19	0	0.64	17.41

表4.3 玻陨石天然玻璃样品的pXRF化学成分分析结果 (%)

样品编号	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	Al_2O_3	FeO	SiO_2	TiO_2	MnO_2	BaO	P_2O_5	R_2O/RO
B-1	1.35	0	0.82	76.35	0	0.05	21.04	0	0	0.16	0	—
B-2	1.33	2.65	2.29	2.12	16.62	6.51	68.00	0	0.14	0.26	0	0.90
B-3	1.45	2.59	3.42	1.85	11.96	7.18	71.05	0	0.14	0.23	0	0.77
B-4	1.08	2.64	3.44	1.80	12.15	6.90	70.16	1.10	0.14	0.23	0	0.71
B-5	1.48	2.63	2.42	3.00	12.84	6.12	70.89	1.11	0.13	0.20	0	0.76
B-6	1.02	2.41	2.19	2.10	11.24	5.89	73.35	1.07	0.14	0.18	0	0.80
B-7	1.18	2.73	3.05	2.12	13.37	6.31	69.56	1.17	0.12	0.13	0.24	0.76
B-8	1.13	2.55	3.08	2.24	12.94	6.17	70.35	1.09	0.12	0.30	0.03	0.69
B-9	0.86	1.29	1.89	3.89	20.69	19.97	49.80	1.34	0.27	0		0.37
B-10	1.78	2.41	2.62	2.20	14.72	5.95	69.11	1.06	0.12	0	0.03	0.87

4.4 火山玻璃(黑曜石)的特性

并非所有火山爆发出的熔岩都能形成玻璃。火山爆发时,喷出熔岩,有时形成球状的称火山蛋。云南腾冲火山区出土了2 000余枚火山蛋;黑龙江五大连池的火山蛋是暗红色的,大部分是多孔的,如图4.6所示。


图4.6 黑龙江五大连池的多孔火山蛋

据文献记载,火山玻璃主要有两种:玄武岩(basalt)和流纹岩(rhyolite)玻璃。实验样品来自墨西哥(Mexico)、澳大利亚(Australia)和美国夏威夷(Hawaii)。各地样品的化学成分见表4.2,化学成分大致相同,都属于玄武岩类。

干福熹到过日本富士山和仙台的火山口,以及黑龙江的五大连池,但未找到火山玻璃,倒是普遍看到了火山蛋。

火山爆发后,熔岩的冷却速度不同,有时在玻璃表面生成雪花状的多晶体,经分析为钠长石(albite),见图4.7、图4.8。



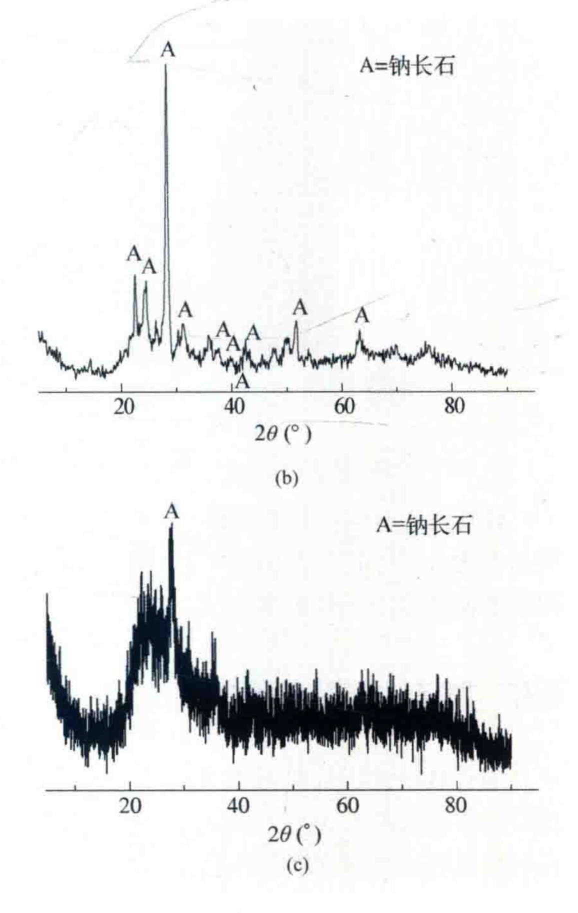


图4.7 H-2黑曜石白色与黑色部分的XRD谱
(a)H-2黑曜石(白色花状为钠长石,黑色为玻璃体);(b)钠长石XRD谱;(c)玻璃体XRD谱

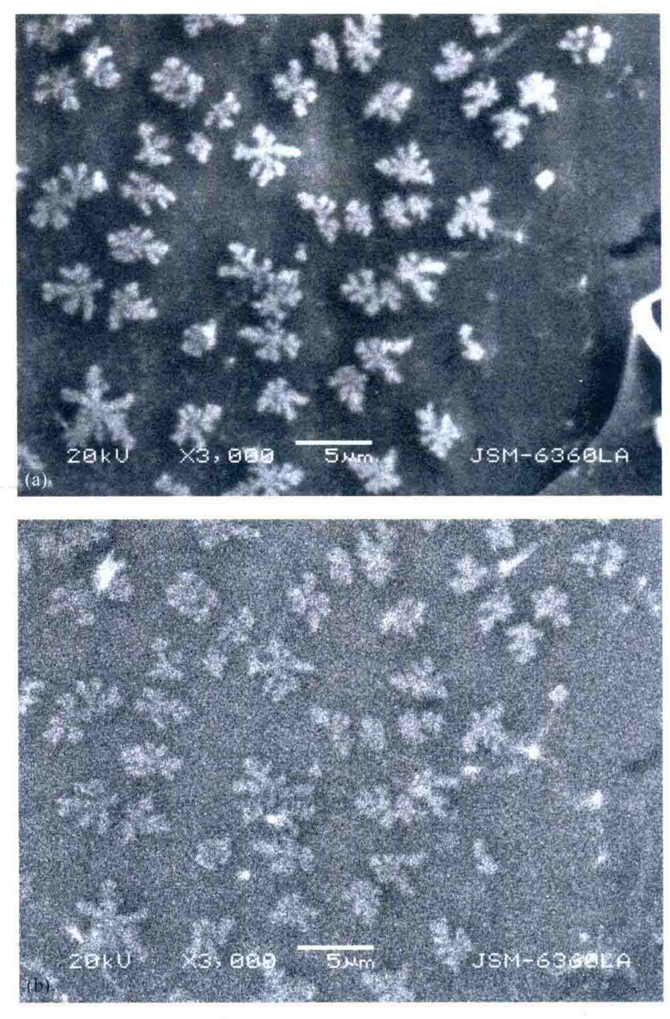


图4.8 H-2的扫描电镜图
(a)二次电子;(b)背散射电子

H-2表面有雪花状的晶体,大小约2.5 μm。雪花的EDS分析结果与pXRF分析所得的结果基本吻合,主要成分为SiO_2 75.95%、Al_2O_3 15.18%、Na_2O 5.36%,为钠长石。以上结果采用带能谱的电子显微镜测定。

4.5 陨石玻璃(玻陨石)的特性

陨石玻璃这类天然玻璃是很稀少的,因为全世界的陨石雨很稀少,大部分落在海洋里。近百万年前曾经发生过大型陨石雨散落,其散落区域分别位于北美、科特迪瓦、莫尔达维-捷克和澳亚群。中国在澳亚群的北侧,应有陨石玻璃,主要包括海南岛、广东和广西南部,见图4.9。

近年来中国地质矿物学家也收集了岭南地区发现的玻陨石,样品外貌见图4.10[6]。

图4.9　中国发现陨石玻璃的主要地方示意图

■ 发现地



图4.10　中国岭南地区发现的玻陨石样品[6]

干福熹收集到了墨西哥，澳大利亚，中国海南、广东、广西的样品，其pXRF结果见表4.3。

最近，Lin Su、Guan Yu Bin 和Hsu Weibiao报道了从广西桂林、海南和广东收集的9件玻陨石的化学成分的分析结果，见表4.4[4]，其中主要成分和着色氧化物的含量与干福熹团队的分析结果很相似。各地玻陨石的分析结果见表4.5。

表4.4　从广西桂林、海南、广东收集的样品的主要成分　（%）

	广西桂林			海南			广东		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SiO_2	74.45	74.88	74.93	75.99	75.62	75.07	73.58	73.16	73.71
Al_2O_3	13.15	12.88	13.20	11.83	12.17	11.83	11.97	11.85	12.07
MgO	1.70	1.69	1.68	1.64	1.65	1.61	2.19	2.18	2.20
FeO	4.54	4.38	4.28	3.84	4.07	4.51	4.74	4.64	4.52
CaO	1.90	1.81	1.72	1.79	1.70	1.88	1.67	1.66	1.65
Na_2O	0.92	0.96	0.91	1.11	1.09	1.13	1.09	1.05	1.03
K_2O	2.69	2.67	2.70	2.95	3.00	2.85	2.61	2.48	2.49
MnO	0.10	0.01	0.06	0.09	0.06	0.05	0.16	0.05	0.04
TiO_2	0.67	0.71	0.68	0.06	0.59	0.57	0.64	0.70	0.54
Cr_2O_3	0.03	0.05	—	—	—	—	0.06	0.03	0.02

表4.5　各地玻陨石的平均化学成分　（%）

氧　化　物	澳大利亚	科特迪瓦	捷　　克	北　　美
	（32）	（7）	（33）	（21）
SiO_2	73.6	68.02	79.11	76.37
TiO_2	0.68	0.57	0.35	0.76
Al_2O_3	12.23	16.30	10.11	13.78
Fe_2O_3	0.60	0.57	0.19	0.19
FeO	4.14	5.99	1.34	3.81
MgO	2.04	3.32	1.91	0.63
CaO	3.38	1.12	2.64	0.65
Na_2O	1.27	2.06	0.52	1.54
K_2O	2.20	1.89	2.15	2.08
H_2O	（<0.02）	（<0.02）	（<0.02）	（<0.02）

长期以来，研究人员进行了玻陨石来源的讨论。一种意见为，外星进入大气层，产生爆炸，分裂成小块陨石在高温下熔融，并随后冷却，分布于散落区的玻陨石只含陨石的成分。另一种意见为，在陨石落下时的冲击中，熔融了地表面的岩石或土壤，冷却后形成。当然也有两者混合的看法。目前，各陨石散落区的玻陨石的化学成分比较一致，而且它们的玻璃结构也比较均匀，因此，较多倾向于第一种意见，当然，进一步的实验积累是非常有必要的。

4.6 利比亚沙漠玻璃

谈到天然玻璃时，不能不涉及利比亚沙漠玻璃（Libyan desert glass，LDG），见图4.11。

散落地区在埃及西沙漠，在100 km^{2}的沙漠区发现高SiO_2含量（>90%）的玻璃，淡绿色、透明，大块可达10 kg。目前在珍宝市场上还有出售。

从19世纪末开始，特别在20世纪80—90年代，有很多考察，研究人员认为主要是陨石与地面冲击时飞溅形成，在150 km外有冲击坑，但未发现石英岩矿[5]。

干福熹团队对送来的样品进行过分析。拉曼光谱显示出典型的玻璃态（图4.12）。XRF分析其成分为SiO_2>90%、Al_2O_3~10%，认为是典型的铝硅酸盐玻璃（表4.6）。因为周围没有高SiO_2含量的岩矿，所以认为是一颗含SiO_2高的小行星在大气爆炸，形成的陨石雨所致。能形成玻璃态，高含量的Al_2O_3是必要的。在接下来的研究中，需要采用一些新的方法，特别是微量元素和同位素分析等示踪元素分析技术，开展进一步的跟踪研究。



图4.11 利比亚沙漠玻璃外形

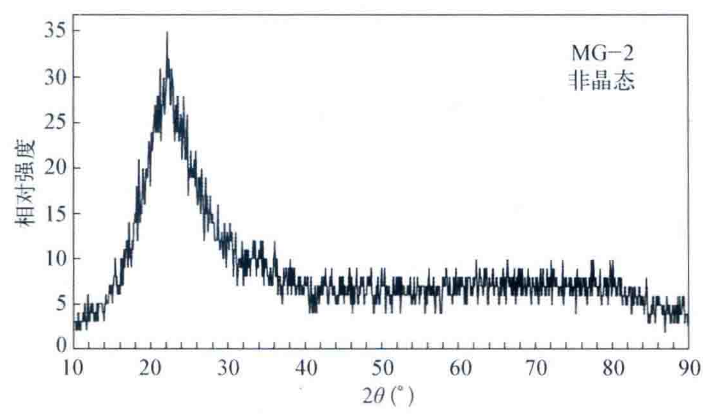


图4.12 利比亚沙漠玻璃的拉曼光谱

通过XRF、XRD和LRS等多种无损分析方法，成功地区分出非天然玻璃样品（B-1、H-3）。

XRD测试结果表明，玻陨石和黑曜石均为玻璃态。LRS测试结果表明470 cm^{-1}附近的弥散包络峰，预示内部含有变形的[SiO_4]四面体组成的环状结构单元。

pXRF测试结果表明，天然玻璃样品的主要化学成分为SiO_2与Al_2O_3。通过化学成分分析，可以区分玻陨石和黑曜石，玻陨石中铁与碱土金属含量比黑曜石高，而碱金属氧化物含量比黑曜石少。

表4.6　利比亚沙漠玻璃的化学成分

			Na_2O		MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	Cl	K_2O	TiO_2
Key	测试点	材质					%				
MG–2	自然表面	石英玻璃	0.70		0.74	5.22	90.41	2.03	0.15	0.31	0.12
			Fe_2O_3	Cr	Ni	Cu	Zn	Sr	Sn	Ba	Pb
Key	测试点	材质	%				$\times 10^{-6}$				
MG–2	自然表面	石英玻璃	0.31	85	29	21	80	10	78	57	65

SEM–EDS和LRS结果表明，玻陨石冷却速率比黑曜石快，内部熔体没有足够的时间结晶就已经冷却，玻璃结构是均匀的。

参考文献

[1] Gan Fuxi. Origin and evolution of Chinese ancient glasses[M]//Gan Fuxi, Brill R H, Tian Shouyun. Ancient Glass Research along the Silk Road. Singapore: World Scientific Publishing, 2009.

[2] 刘松，李青会，干福熹，等. 古代玻璃样品表面因素对pXRF定量分析的影响[J]. 光谱学和光谱分析，2010，30(9)：2576–2580.

[3] 胥真奇，赵虹霞，干福熹. 天然玻璃无损分析化学成分，结构和矿物相[J]. 中国硅酸盐学报，2010，40(3)：443–449.

[4] Lin Su, Guan Yunbin, Hsu Weibiao. Geochemistry and origin of tektites from Guilin of Guangxi, Guangdong and Hainan[J]. Science China (Earth Sciences), 2011, 54(3): 349–358.

[5] Weeks R A, Underwood Jr J R, Giegengack R, et al. Libyan desert glass: a review[C]//L.D.Pye, J.A.O'Keefe, V.D. Frechette. Natural Glasses. Amsterdam: North-holland Physics Publishing, 1984: 593–621.

[6] 张家志，茂民，冯春光. 岭南沿海玻璃陨石特征与成因探讨[J]. 矿物爱好者：陨石专辑，2014，12(24)：121–132.

第5章　中国古代釉砂的科学研究

董俊卿　后德俊　干福熹

在玻璃制作技术出现以前，古人是从制作釉砂（faience）和玻砂（frit）开始的。釉砂是在烧结的石英砂体上涂釉，而玻砂为石英砂和玻璃的混合体。两者都不全是玻璃态，而是以二氧化硅（SiO_2）为主要成分（>90%）的烧结体。中国的釉砂和玻砂主要出土于北方和西北，以黄河流域为主，年代为西周至春秋。此外，在长江流域也出土不少，年代为春秋至战国。釉砂和玻砂皆以珠形物为主，常与石英珠（包括玛瑙、玉髓）及玉石珠和管串联在一起，这与西亚和埃及出土的釉砂很相似。

中国釉砂和玻砂的特征为其中含有较高的氧化钾（K_2O），而K_2O的含量大于Na_2O。图5.1展示了中国古代釉砂和古埃及釉砂中K_2O和Na_2O含量的比例关系。由于使用了植物草木灰作助熔剂，所以，K_2O/Na_2O比例关系决定于草木灰内碱金属氧化物的含量，中国草木灰中K_2O的含量偏高，而西亚草木灰中Na_2O的含量偏高。西亚和埃及早期釉砂和玻璃后改用天然泡碱（Na_2CO_3）作助熔剂，埃及惠地—爱尔—纳催笼（Wadi-El-Natrum）是著名泡碱产地，所以Na_2O的含量高于K_2O。

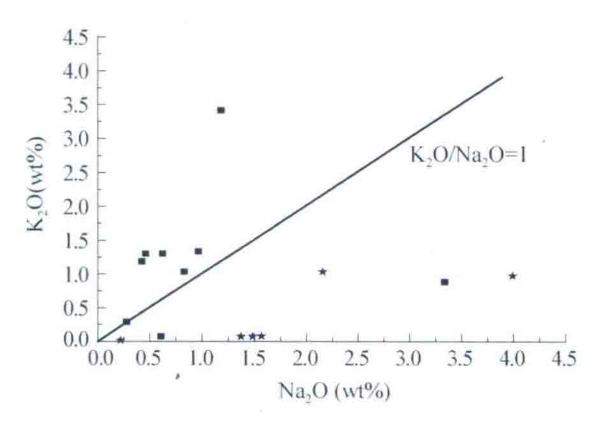


图5.1　中国古代釉砂和古埃及釉砂中K_2O和Na_2O含量的比例关系
■ 中国古代釉砂；★古埃及釉砂

5.1 考古发现早期的釉砂

5.1.1 西周时期的釉砂

1975年在陕西宝鸡茹家庄发掘出一批西周墓葬，是強国的墓地，其中时代为西周中期偏早的強伯及其妻之墓中出土了1 000多颗中国早期釉砂珠、釉砂管，考古工作者称之为料珠、料管。它们与红玛瑙、玉石、蚌等质地的珠、管一起组成串饰或链饰。

陕西宝鸡西周強国墓地和扶风上宋西周墓地出土的釉砂的有关结构、成分、铅同位素分析的结果等，见表5.1、表5.2[1]。

表5.1 西周墓葬中出土的釉砂的情况

样　品	出土地点	描　述
管形珠碎片	宝鸡強国墓地	石英：碎屑状，棱角尖锐，粒度直径0.5~0.02 mm；玻璃质：均匀，带有淡蓝色，折射率低于石英，以石英为主，玻璃质为胶结构，石英含量＞90%
圆形珠碎片	扶风上宋西周墓地	石英：细粒，碎屑状，不等粒，颗粒间有玻璃质胶结；玻璃质：均匀，折射率低于石英，有少量孔洞，石英含量＞80%

从表5.1可以看出，这些西周时期的料珠，其主要成分为石英砂，只含有少量的玻璃质。因而制造不出真正意义上的玻璃珠，也不是单纯的砂质珠，有些类似于古埃及等地生产的氟昂斯（faience）珠，前面章节曾提到过，我们称之为釉砂。

表5.2 若干中国古代玻璃样品中的铅同位素比值

年　代	样　品	风化程度	色泽与透明度	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{204}Pb$
周初	料珠	中度风化	淡蓝、不透明	0.843 5	2.072 7	0.055 20
汉	大珠子	严重风化	淡蓝、透明	0.846 8	2.102 6	0.053 72
汉	鱼	中度风化	白色、不透明	0.847 30	2.094 87	0.053 941
汉	蝉	严重风化	白色、混浊	0.846 65	2.098 33	0.053 828
汉	耳杯	严重风化	黑	0.843 32	2.093 96	0.053 581

王世雄先生指出："与埃及的faience相比，（宝鸡、扶风出土的）两批料珠的显微结构也表现不同。观察faience中的显微结构可见石英颗粒边缘呈玻璃态而中间是结晶态。強国墓……料珠中的石英颗粒棱角尖锐，边缘并无熔融的玻璃态物质。通过铅同位素分析，可以得到关于该器物产地的重要信息"[1]。美国R. H. Brill等曾对他们掌握的数百件古代玻璃样品进行了铅同位素分析，并提出了根据铅同位素比值的不同来判断器物产地的统计规律。从表5.2可以看出，宝鸡出土的西周时期釉砂与美国学者分析过的4件汉代玻璃制品有着极其相似的铅同位素比值。R. H. Brill等提到，这种铅（同位素比值）在中国出现得相当普遍。由此可见，宝鸡強国墓出土的料珠无疑是产在中国。

此外，在陕西扶风县上宋公社北吕村3座西周早期墓也出土了一批类似的釉砂珠和釉砂管，计有釉砂珠11颗、釉砂管15件，均为浅蓝色或浅绿色，它们与红玛瑙珠、绿玉管等一

起组成链饰。1978年山东曲阜县鲁国故城47号西周晚期墓中出土的夹杂于红玛瑙串饰中的3颗浅蓝色的料珠，与弹伯墓中出土的釉砂相似。陕西扶风县云塘西周晚期5号平民墓中出土有料珠33颗、料管19件，均为浅蓝色或浅绿色。其中有的料管上带有点饰，它们与白色的石珠等一起组成链饰。1955—1956年发掘的河南三门峡上村岭虢国墓地出土的串饰中，发现有菱形料珠7颗、管形料珠2颗。它们与玉石、绿松石、鸡血石等质地同一类型的珠管混在一起组成串饰。墓葬的年代为西周晚期至东周初期，其年代的下限不晚于公元前655年[2]。

1964年在河南洛阳庞家沟发掘的5座西周早、中期墓葬中，出土了2件白色穿孔料珠。该墓地出土了一批原始瓷器，瓷器以高岭土为原料制造，胎体灰白色，吸水性差，敲击时声音清脆，表面有绿色釉[3]。

1995年北京琉璃河西周墓地M2出土的串饰，由各色料珠与玛瑙珠、小陶管、圆蚌片、穿孔贝壳等组成[4]。

陕西、河南等地出土的釉砂，从时间上看，时代最早的为西周初年，约为公元前11世纪后叶，时代最晚的为春秋晚期，约为公元前5世纪上半叶；从出土数量上看，陕西扶风上宋西周墓地的500座墓葬中，近400座墓葬中有釉砂出土，一座墓中出土几件、几十件不等；从考古资料看，这些釉砂大多是与玉石质地的同类器物一起出土，是玉石器的代用品。以上这三点均说明这些早期的釉砂是中国自己的产品，它们的出土表明，远在公元前11世纪后叶，中国的玻璃制造技术已经开始萌芽，并且延续了几百年。只是由于中国黄河和长江中下游地区一般都缺乏天然碱等资源，用于降低石英熔点的助熔剂的大量使用比较晚一些，而烧制温度因受技术限制又无法提得更高，因此没有将石英熔化（鳞石英的熔点为1 670℃，方石英的熔点为1 710℃。而在春秋中期前后楚国冶铜竖炉内的冶炼温度才达到1 100~1 200℃），而制造出真正意义上的玻璃，熔炼温度要在1 200℃以上。

5.1.2　釉砂的制造技术——“黏结”与“烧结”

釉砂是玻璃的前身，在外观上和原料上都与玻璃相似。美索不达米亚和埃及地区从公元前4000年、印度从公元前3000年就开始生产釉砂制品了，有些地区釉砂的生产一直延续到14世纪。釉砂虽然有许多不同类型，但它们的主体材料一般都是用磨细的石英砂，掺入少量的碱水，塑成一定的形状后，加热到900℃左右而成。表层的石英砂（SiO_2）熔融形成一薄层光亮的釉，内部石英颗粒的表面在碱和温度的作用下也有部分熔融了，使得石英砂粒互相黏结在一起，但内部的石英颗粒并没有完全熔融，仍然保持着结晶的状态[5]。

陕西宝鸡、扶风出土的西周料珠的产生和制造很可能与冶铜业有密切关系，其制造过程是在冷却固化前进行，并采用了工具压型及堆贴点饰等制造方法。据宝鸡弹国墓地出土料珠的形式多样的特点看，可以推测当时料珠的制造已初具规模。这与中国玻璃的起源有着密切的关系，这类料珠应认定为中国的原始玻璃。

西周及春秋时期釉砂的制作工艺主要有两点，一是“黏结”，二是“烧结”。其主要工序是：

（1）将石英砂磨成粉末。由于石英砂不可能纯净，其中总含有一些少量的金属化合物，这些金属化合物就起到了一定的助熔剂作用。

（2）将石英粉末用水或少量黏合剂调成干稠状后塑成圆珠形，犹如用陶泥制作陶珠一般，珠的穿孔处填置黏土或其他物质支撑。这就是“黏结”。

（3）在一定的温度下进行焙烧。珠体表面的砂粒的表面被烧成了玻璃体，在珠体外层形成了厚度不可能十分均匀的玻璃体薄层。而珠体内部的砂粒，仅部分表面被烧成了玻璃体，大多数仍然是未熔融的砂粒，只是被烧结而黏结在一起。这就是“烧结”。

（4）珠子烧成并冷却之后再剔去穿孔处的黏土。

由此可见，一方面釉砂的出现与陶珠制作有一定的关系，古人只要将石英的粉末当作陶泥对待就行了；另一方面，石英的粉末毕竟与陶泥不同，其黏性差，在烧结的过程中容易散开成一堆砂粒，所以仅能做成一些小型的珠、管，而不能做成较大型的器物。

5.1.3 西周釉砂制造技术与瓷釉和青铜冶铸技术的关系

中国有着历史悠久的陶瓷工艺技术和青铜冶铸技术，它们的存在对中国早期玻璃制造技术的萌芽，起到了一定的奠基和推动作用。

在中国，距今3 000多年前的商代就已经出现了早期的瓷器，考古学上称其为原始瓷器。之所以称为原始瓷器，是因为它们与后来的瓷器有差别，但是它们又具有瓷器的基本特征，其中重要的一点是这种原始瓷器的大部分表面都上有一层釉。一些原始瓷器的表面还有釉滴存在，这是釉层在高温下被熔融后产生流动而形成的，从而说明这些釉已经被烧熔成了玻璃体覆盖在瓷器的表面。这些原始瓷器的釉层一般呈青灰色、酱色等，其化学成分为钙质釉。李家治分析了几件原始瓷器表面釉的化学成分，见表5.3[6]。

表5.3 中国各个时期原始瓷器瓷釉的化学组成 （%）

名　称	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	PbO
河北藁城商代酱色釉原始瓷片		5.31		6.49	0.15	2.29	0.96	0.14	0.31
广东饶平商代酱色釉原始瓷片	15.99	5.20	0.98	8.85	2.61	2.41	0.13	0.13	
浙江德清西周青灰釉原始瓷片	11.71	3.35	0.73	9.93	2.47	5.11	1.34	0.24	

表5.3中虽然没有列出各原始瓷釉的全部化学成分，然而从中可以看出釉中氧化铝、氧化钙的含量是比较高的。重要的是这类釉已被烧熔成了玻璃体，这表明某些石头（即矿物）的粉末在一起是可以被烧成熔融状态的。这就是中国玻璃制造技术的萌芽条件之一。

李家治还分析了一些原始瓷器瓷胎的化学成分，结果见表5.4[6]。

表5.4 中国各个时期原始瓷器瓷胎的化学组成 （%）

名　称	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO
河北藁城商代酱色釉原始瓷片	73.16	18.05	3.52	1.02	0.29	1.00	2.49	0.52	0.02
广东饶平商代酱色釉原始瓷片	67.30	26.04	2.88	1.91	0.23	0.16	0.66	0.04	0.01
浙江德清西周青灰釉原始瓷片	79.51	13.34	2.06	1.11	0.25	0.65	1.79	0.46	0.02

从表5.4中可以看到，这些原始瓷器的胎体采用了与陶土截然不同的瓷土为原料制成，原料中的主要成分是SiO_2和Al_2O_3，其他成分的含量比较少。所烧成的胎体呈灰白色，其胎体虽然只有极少部分被烧成了玻璃体、绝大部分仍然是烧结体，但是与陶胎相比较，这类胎体的特点是颜色浅淡、均匀，质地细腻、致密，孔隙少、吸水性差。这种原始瓷器烧制成功就给了人们一种启示：采用质地比较纯净的石头粉末，先成型后烧制，可以制造出外观比较美丽的产品。那么，采用白色的沙子为原料，先成型后烧制，按道理当然也是能够烧制出外观比较美丽的产品来的。这就是中国最早的玻璃制品的前身——西周釉砂出现的渊源之一，当然也是中国玻璃制造技术的萌芽条件之一。

此外，中国古代比较发达的青铜冶铸技术，也为玻璃制造技术的出现创造了条件。在河南郑州的商代早期铸铜遗址上，曾发现一些绿色粉末状物质，经岩相检验为含有石英并存的玻璃相，这说明这种粉末是经过烧炼和使用的产物。这种绿色粉末的发现可以证明，在当时的冶铜过程中，人们曾得到过一种绿色并含有玻璃相的物质。这种物质在高温下易于加工成型，经过多次的生产实践，劳动者有可能逐步认识到这种物质所具备的性质，如具有美丽色彩与光泽等特点，进而试图用来制作饰物，这样新的一种生产技术就逐步萌芽[1]。

至迟在春秋中期前后，楚国的工匠们在冶炼铜矿石的过程中已经使用了配矿技术，在投入炼铜炉内的炉料中已经加入了作为熔剂的铁矿石，使得炼出的炉渣黏度较小，排出后的渣液呈薄片状、表面有水波纹样。这种炉渣的主要成分为SiO_2、Fe_2O_3、CaO等，从某种意义上讲，它们也可以被看作一种玻璃，只是一种不透明的、无一定形状的黑色“玻璃”而已。这一结果表明，某几种不同的石头（即矿石）混在一起，比较容易被烧熔化，这一启示当然也成为中国玻璃制造技术的萌芽条件之一了[7]。

5.2 考古发现春秋及战国时期的釉砂和玻砂

1977—1978年发掘的河南淅川县下寺楚墓群，也出土有大批的釉砂珠。其中1号墓出土65颗，菱形，正中有孔，质疏松，表面绿色；管状及枣核状的釉砂管16件，均为浅绿色。2号墓出土49颗，质轻，浅绿色，表面较细密，从断面看内层疏松，中含许多气泡，如海绵状；浅绿色直管状的釉砂管11件。3号墓出土22颗，浅绿色，中穿孔，质松，内有气孔；浅绿色直管状釉砂管5件。7号墓出土41颗，珠体作菱形，绿色，质轻，四周起棱，中有小穿孔。8号墓出土5颗，绿色，质轻，四周起棱，中有小穿孔，从釉砂珠的断面看，内部含有气孔。淅川县下寺楚墓的年代为春秋中晚期，具体地说，7号墓和8号墓的年代为春秋中期后段，即公元前620年到公元前571年；1号墓、2号墓及3号墓的年代为春秋晚期前段，即公元前570年到公元前521年。其中2号墓出土的青铜器上铸有“王子午”等铭文，王子午即楚康王时的令尹子庚，他死于楚康王八年（公元前552年），所以该墓的年代是比较精确的[8]。

1994年11月—1995年4月发掘的江苏苏州真山大墓，是一座时代为春秋中晚期的吴王墓，在该墓的棺床外有一漆盒，盒中放有串饰，串饰由大量的玛瑙珠、水晶珠、绿松石珠等组成，其中琉璃珠25颗，菱形、孔雀蓝色、中穿孔[9]（图5.2）。这种菱形蓝色料珠与上述西周及春秋墓中出土的同类料珠基本上是相同的。



图5.2　江苏苏州出土的菱形琉璃珠（春秋中晚期）

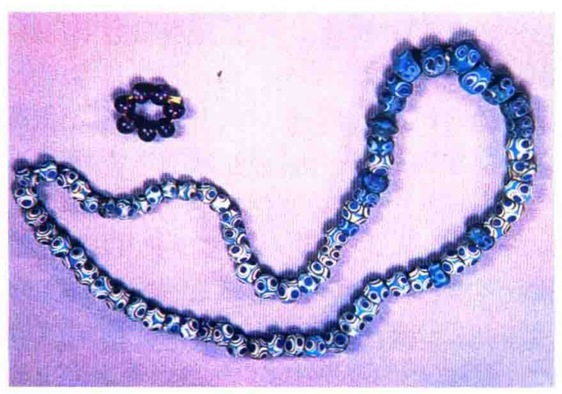


图5.3　湖北随县曾侯乙墓出土的玻砂珠串（战国早期）

湖北随县（今随州市，下同）曾侯乙墓（时代为战国早期）出土了100多颗料珠（图5.3）。其中有一颗质地类似于瓷质的，胎体灰白色，质地坚硬、比较致密，凸棱上有3个蓝色半透明的“眼”。

后德俊曾考察过这颗珠子，它应是先成型后烧制的。陕西、河南等地出土的某些釉砂，其制造工艺和曾侯乙墓出土的这颗珠子基本上应是相同的，就是将石英砂等粉末拌入少量的助熔剂与黏合剂塑成珠形，然后进行烧制而成。考古发掘资料已经证实，这些釉砂珠、釉砂管大多出土于墓主人的胸、颈、腕部并与玉石、玛瑙等质地的珠、管在一起，是作为玉石器的代用品使用的。

与西周时期相比，春秋及战国早期釉砂的制造技术水平整体上有了提高，这一时期的釉砂可以认为是属于玻砂。

5.3　西周至春秋时期釉砂的科技分析

5.3.1　中国釉砂的分布及科技分析概况

在中国早期（主要是西周至春秋时期）的墓葬中出土了大量不透明的小型装饰品，形状各异，其表面略有玻璃光泽，往往与玛瑙、绿松石、红玉髓等玉石质地的饰物串在一起，主要分布在今渭水—黄河中下游流域（甘肃、陕西、河南、山西、山东等地）、丹淅流域（河南、湖北交界地）以及内蒙古、新疆等地。文物和考古工作者一般将不透明者称为“料器”（如料珠和料管等）或“琉璃”，也有人误认作玻璃[2, 10]。相当一部分只是烧结的石英砂，表面含有少量的玻璃态，现称之为“釉砂”。这类釉砂制品大量出土于中国黄河流域（陕西、山西、河南、山东）和长江中下游流域（湖北、安徽、江苏）西周至春秋时期的墓葬中。

以往由于实验条件和无损分析方法的局限，经过系统科技检测的样品数量有限，且分析方法多不相同，系统误差不同，影响了分析结果的比较研究。近年来，随着釉砂样品的出土数量增多和无损及微损分析技术手段的进步，采用相似的分析技术系统对釉砂样品进行科技分析的案例逐渐增多，为研究中国釉砂的区域特征、成分特征及演变等提供了重要的科学数据。表5.5列举了近几年进行科技分析的釉砂样品简况，以最近几年河南平顶山和淅川等地出土的釉砂为重点进行阐述。典型样品照片见图5.4~图5.6。

表5.5　近几年进行科技分析的各地出土釉砂样品概况

出土地点	年　代	样品编号	数量	器　名	分析技术
河南平顶山应国墓地[11-12]	西周早期	HNZZ-81，HNWKⅡ-91、92	3	珠	PIXE、XRD、SEM-EDS
	西周中期	HNWKⅡ -64~73、HNWKⅢ-60~81	32	21珠 11管	PIXE、pXRF、XRD、SEM-EDS
	西周晚期	HNZZ-17~26	10	料管	PIXE、XRD、SEM-EDS
	春秋早期	HNWKⅡ-74~78	5	4珠1管	PIXE、XRD、SEM-EDS
河南淅川下寺楚墓[13]	春秋中期	HNWKⅡ-19~29	11	珠	PIXE、XRD
	春秋晚期前段	HNWKⅡ-30~44、48~55	22	12珠 10管	PIXE、XRD
河南叶县旧县4号墓[13]	春秋晚期	HNWKⅡ-81、82	2	珠	PIXE、XRD
湖北枣阳市郭家庙墓地[14]	西周晚期	GM21-6	1	珠	WDXRF、XRD
湖北枣阳市郭家庙墓地[14]	春秋早期	GM2-2、GM16-2-1、GM16-2-2	3	珠	WDXRF、XRD
甘肃崇信县于家湾墓地[15]	西周	GCYF-1、GCYF-2、GCYF-3	3	珠	SEM-EDS、Raman
山西运城市绛县倗国墓地[16]	西周	M2161-1、M2036-1、M2047-1、M2047-2、M2055-2、M2002-1	6	珠	SR-μCT、EDXRF





图5.4　河南平顶山应国墓地出土西周晚期的组合玉佩（a、b）（红色箭头所指的绿色管子为釉砂管）[11]



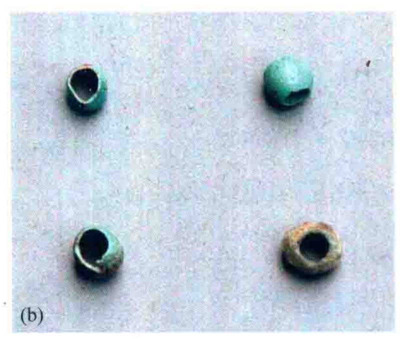




图5.5 河南平顶山应国墓地出土西周早期至西周中期料珠和料管[12]

（a）HNWKⅡ-92，西周早期料珠；（b）HNWKⅡ-69~72，西周中期料珠；（c）HNWK Ⅲ-78，西周中期料管

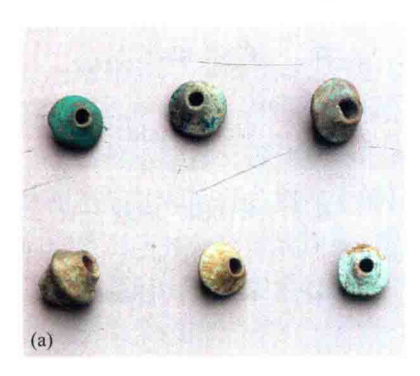






图5.6 河南淅川楚墓出土春秋时期料珠和料管[13]

按照自上而下、自左及右的顺序；（a）料珠，春秋中期，依次为HNWKⅡ-19~24；（b）料珠，春秋晚期前段，依次为HNWKⅡ-30~33；（c）料管，春秋晚期前段，依次为HNWKⅡ-34~43

5.3.2. 科技分析结果

5.3.2.1 物相结构

经XRD检测分析，西周早期的料珠有一组明显的石英衍射峰（图5.7）。西周中期料珠的XRD谱都存在不同程度的弥散现象，XRD峰较弱，但大多数样品都出现了石英的XRD峰，如HNWKⅡ-64、HNWKⅡ-65（图5.8a）、HNWKⅡ-70、HNWKⅡ-72及HNWKⅡ-73，个别样品的XRD谱甚至是一条弥散的曲线。西周晚期的料管的主要物相为石英，如样品HNZZ-17、HNZZ-18、HNZZ-21、HNZZ-23（图5.8b）、HNZZ-24及HNZZ-85（图5.8c），除个别样品如HNZZ-17、HNZZ-23及HNZZ-24的XRD峰较强外，其余样品的XRD谱都存在不同程度的弥散现象，XRD峰较弱。春秋早期

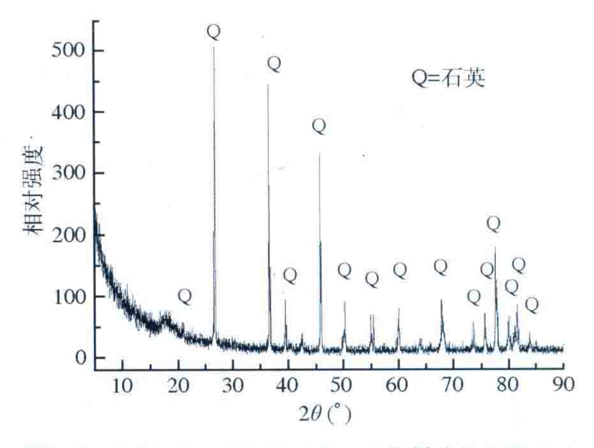


图5.7 河南平顶山应国墓地西周早期料珠（HNZZ-81）的XRD谱

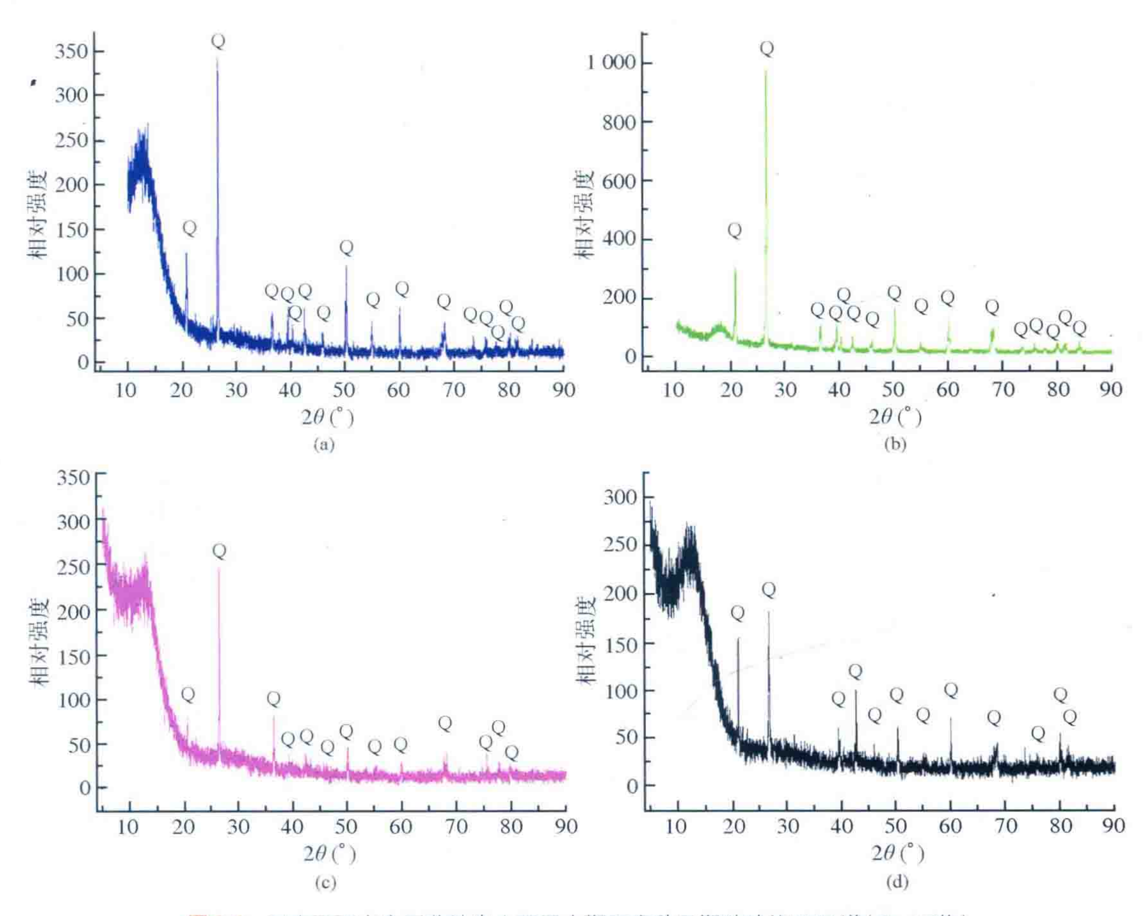


图5.8 河南平顶山应国墓地出土西周中期至春秋早期釉砂的XRD谱（Q=石英）

（a）HNWK Ⅱ 65，西周中期；（b）HNZZ-23，西周晚期；（c）HNZZ-85，西周晚期；（d）HNWK Ⅱ-75-1，春秋早期

的料珠，只有石英砂一种物相，但其XRD谱都存在不同程度的弥散现象，XRD峰较弱，如样品HNWK Ⅱ-75-1（图5.8d）。

5.3.2.2 化学成分分析结果

下面以河南平顶山应国墓地[11-12]和淅川下寺楚墓[13]为例，详细阐述下中国釉砂的化学成分特点，表5.6列举了平顶山、淅川等地出土典型釉砂的化学成分。

1）西周早期

西周早期的蓝绿色釉砂珠非常少，多为残片，经PIXE测试分析的有HNZZ-81、HNWK Ⅱ-91和HNWK Ⅱ-92三件，主要化学成分为SiO_2（91.29%~91.56%）；次要化学成分为CuO（1.71%~2.95%）、P_2O_5（0~1.25%）、Al_2O_3（1.18%~3.10%）、Na_2O（0.55%~1.20%），其他氧化物如CaO、MgO、K_2O及Fe_2O_3皆小于1%，但样品HNWK Ⅱ-92-1却含有2.63%的PbO，高于其他样品，可能与助熔剂有关。

SEM表面形貌分析表明，样品HNZZ-81中主要是未熔融的石英砂颗粒，呈不规整小片状、块状分布[如图5.9a的（002）点]，玻璃相很不明显（图5.9a）。扫描电子显微镜能谱（SEM-EDS）点扫描分析（表5.7）显示，样品中石英颗粒（HNZZ-81-p2）的SiO_2含量约95%、Al_2O_3含量

表5.6 河南平顶山和淅川出土西周至春秋时期部分釉砂样品的PIXE分析结果[10-13]

（%）

样品编号	样品名称	年代	出土地点	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	CuO	PbO	BaO
HNZZ-81	蓝色珠	西周早期	平顶山应国墓地	0.55	0.91	3.10	91.29	1.25		0.17	0.19	0.23	0.59	1.71	0.00	
HNWKⅡ-91-1	蓝色珠	西周早期		1.20	0.72	1.91	91.56			0.24	0.68		0.63	2.95	0.71	
HNWKⅡ-92-1	蓝色珠	西周早期		1.16	0.16	1.18	91.30	0.64		0.23	0.29	0.03	0.27	2.08	2.63	
HNWKⅡ-64	蓝色珠	西周中期		1.50	0.84	5.71	86.30		0.54	0.91	0.35	0.06	0.77	2.52		
HNWKⅡ-70	蓝色珠	西周中期			0.24	2.08	85.26	0.84	0.55	0.35	0.62		0.10	9.07		
HNZZ-17	蓝色管	西周晚期			0.40	1.71	92.50	1.91	0.28	0.25	0.65		0.08	1.71		
HNZZ-18	蓝色管	西周晚期			0.34	1.94	89.20	3.11	0.51	0.25	2.23	0.04	0.26	1.86		
HNWKⅡ-75-1	蓝色管	春秋早期			0.11	1.10	94.99	0.41		0.18	0.20	0.03	0.21	2.77		
HNWKⅡ-78a	蓝色珠	春秋早期			0.27	1.79	95.37	0.31		0.34	0.10	0.06	0.13	1.65		
HNWKⅡ-82	蓝色珠	春秋晚期	叶县旧县4号墓	2.14	0.67	3.46	85.65	1.33		2.39	0.47	0.11	0.35	2.37	0.96	0.10
HNWKⅡ-21	绿色珠	春秋晚期	淅川下寺楚墓	0.91	0.89	7.26	83.12	1.16	1.75	1.12	0.67	0.19	1.12	1.54		
HNWKⅡ-22	绿色珠	春秋中期		0.58	1.13	10.03	77.77	0.81	2.52	1.45	1.23	0.46	2.05	1.16		
HNWKⅡ-24	绿色珠	春秋中期			0.83	3.65	92.13	1.31	0.18	0.43	0.13	0.03	0.33	0.96		
HNWKⅡ-26	绿色珠	春秋中期		1.32	1.41	7.62	79.07	0.75	3.20	1.02	1.37	0.27	1.56	2.18		
HNWKⅡ-30	蓝色珠	春秋晚期		0.57	0.39	1.47	94.25	0.44	0.43	0.37	0.39	0.04	0.12	1.49		
HNWKⅡ-34	蓝色管	春秋晚期			0.50	6.05	89.39	0.41	0.07	0.79	0.38	0.20	0.38	1.76		
HNWKⅡ-44	蓝色珠	春秋晚期		1.10	1.02	4.61	76.95	0.23	1.27	1.47	1.00		0.58	11.19		

约4%，其他氧化物如Na_2O、MgO、K_2O、CaO、MnO、FeO、CoO及ZnO的含量都小于1%。值得注意的是，在该样品中发现一个富钾颗粒（HNZZ-81-p1），主要化学成分为SiO_2（44.38%）、Al_2O_3（36.08%）和K_2O（10.00%），次要化学成分为FeO（4.27%）、MgO（1.80%）、ZnO（1.60%）和Na_2O（1.33%），说明样品中可能引入了富钾的原料如云母或钾长石等作为助熔剂。

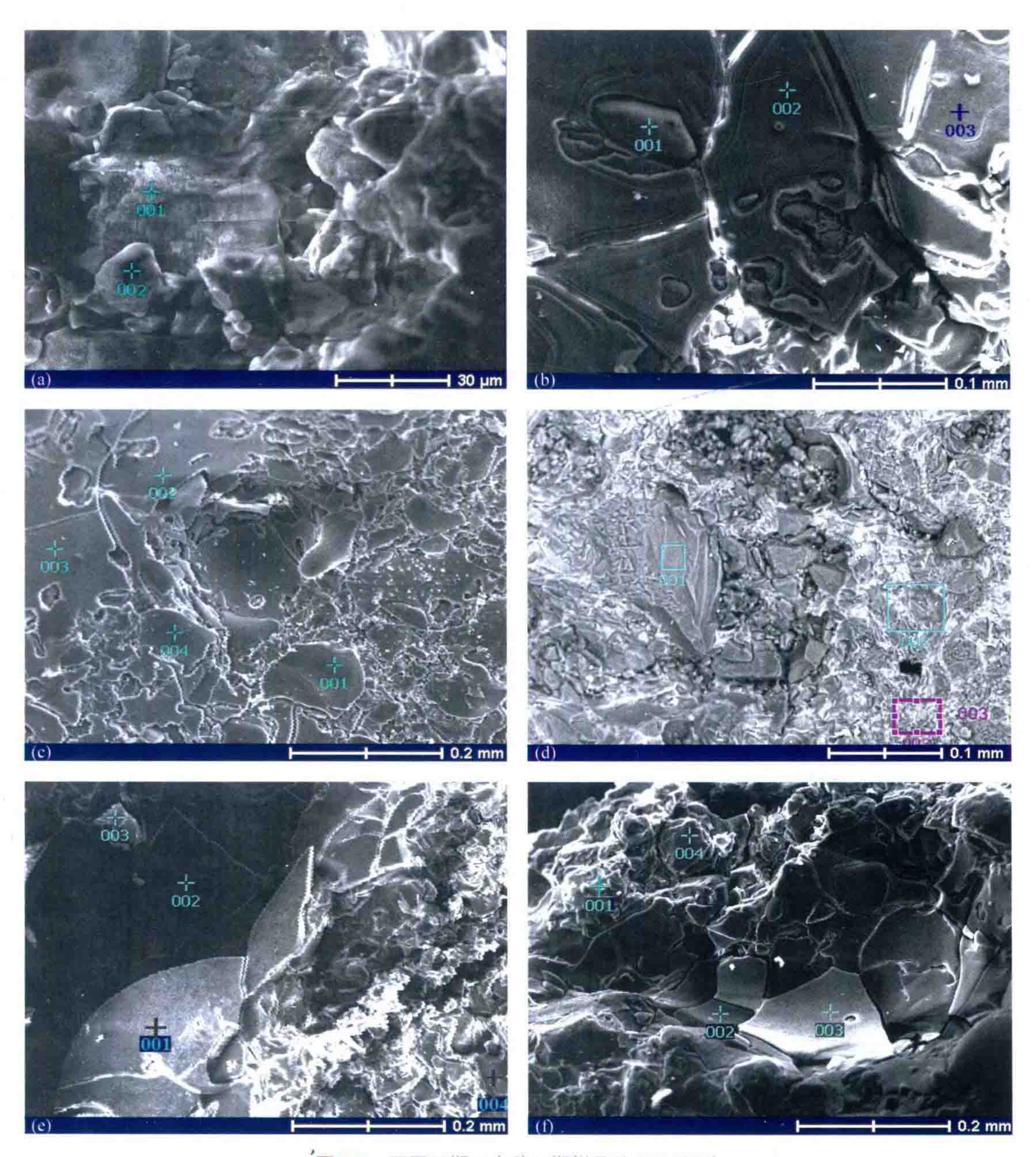


图5.9 西周早期至春秋早期样品的SEM照片

(a) 西周中期料珠HNZZ-81；(b) 西周中期料珠HNWKⅡ-65；(c) 西周中期料珠 HNWKⅡ-73-1；(d) 西周中期料管HNWKⅡ-81-1；(e) 西周晚期料管HNZZ-85；(f) 春秋早期料珠HNWKⅡ-75-1（a001：富钾颗粒；a002，b001，c001，c004，d001，d002，e003，e004，f001，f004：石英砂；b002，b003，c002，c003，e001，e002，f002，f003：玻璃相；d003：富钠颗粒）

表 5.7　西周中期至春秋早期料珠和料管样品的扫描电镜能谱分析结果[10]

（%）

年代	样品	器名	测试点及扫描电镜图谱中位置	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	FeO	CoO	CuO	ZnO	PbO
西周早期	HNZZ-81-1-p①1	料珠	富钾颗粒，图 5.9a001	1.33	1.80	36.08	44.38			10.00	0.54			4.27			1.60	
	HNZZ-81-1-p2	料珠	石英砂，图 5.9a002		0.64	4.12	94.42				0.14		0.18	0.51				
西周中期	HNWKⅡ-65-p①1	料珠	石英砂，图 5.9b001	0.05		2.43	95.66			0.11	0.47	0.22	0.17			0.89		
	HNWKⅡ-65-p2	料珠	玻璃相，图 5.9b002		0.15	2.28	86.24				0.28			0.48	0.93	9.65		
	HNWKⅡ-65-p3	料珠	玻璃相，图 5.9b003	0.39		2.90	87.48				0.42	0.32	0.31	0.46	0.48	7.24		
	HNWKⅡ-65-s1	料珠	图 5.9b	0.19		3.12	88.11				0.30			0.30	0.60	7.00	0.37	
	HNWKⅡ-73-1-p1	料珠	石英砂，图 5.9c001			3.24	96.43									0.33		
	HNWKⅡ-73-1-p2	料珠	玻璃相，图 5.9c002		0.11	2.68	85.83									11.39		
	HNWKⅡ-73-1-p3	料珠	玻璃相，图 5.9c003		0.24	2.93	86.47			0.01						10.35		
	HNWKⅡ-73-1-p4	料珠	石英砂，图 5.9c004	0.07	0.15	2.51	95.70			0.04	0.17					0.14		1.24
	HNWKⅡ-73-1-s1	料珠	图 5.9c			3.27	89.39				0.44					6.90		
	HNWKⅡ-81-1-s1	料管	石英砂，图 5.9d001		0.10	0.99	98.09			0.07						0.41		
	HNWKⅡ-81-1-s2	料管	玻璃相，图 5.9d002	1.19		2.05	87.93		0.04	0.47	0.35		0.07	0.74		6.91		
	HNWKⅡ-81-1-s3	料管	富钠颗粒，图 5.9d003	3.49	0.27	3.08	79.17	0.12	0.14	0.75	0.77	0.27		0.67		10.14		
西周晚期	HNZZ-85-p1	料珠	玻璃相，图 5.9e001	0.01		2.92	84.56				0.56				0.59	11.36		
	HNZZ-85-p2	料珠	玻璃相，图 5.9e002		0.25	3.55	88.11			0.04	0.27		0.09	0.57	0.39	5.56	1.17	
	HNZZ-85-p3	料珠	石英砂，图 5.9e003			2.73	90.16				0.78		0.08	0.04	0.98	4.84	0.41	
	HNZZ-85-p4	料珠	石英砂，图 5.9e004			3.23	94.74			0.13	0.02		0.18		0.63	0.75	0.32	
	HNZZ-85-s1	料珠	图 5.9e		0.10	3.72	87.38			0.29	0.32		0.36		0.65	6.15	1.03	
春秋早期	HNWKⅡ-75-1-p1	料珠	石英砂，图 5.9f001	0.07	0.49	7.09	89.87	0.19			0.42			0.49		0.74	0.12	0.93
	HNWKⅡ-75-1-p2	料珠	玻璃相，图 5.9f002		0.01	4.02	86.01	0.38	0.12					0.23		8.40		0.40
	HNWKⅡ-75-1-p3	料珠	玻璃相，图 5.9f003			3.41	85.75		0.04	0.15				0.08		9.17		1.39
	HNWKⅡ-75-1-p4	料珠	石英砂，图 5.9f004	0.31	0.18	2.48	93.90				0.29			0.21		0.27	1.10	1.25
	HNWKⅡ-75-1-s1	料珠	图 5.9f			3.78	87.55			0.27	0.65			0.51		6.51		0.73

注：① p—点扫描（point scanning）；s—面扫描（surface scanning）。

2）西周中期

PIXE化学成分分析结果显示，西周中期料珠的主要化学组分为SiO_2（83.18%~94.82%）；次要化学成分为CuO（0.89%~9.07%）、Al_2O_3（0.94%~5.71%）、Na_2O（0~1.69%）、K_2O（0~0.91%），其他氧化物如P_2O_5、CaO及Fe_2O_3等含量皆小于1%。保存相对完整的料珠厚度一般不高于0.55 cm（如HNWKⅡ-64、HNWK-69、HNWK-70、HNWK-71及HNWK-73等），比其他风化腐蚀严重甚至残碎者（如HNWKⅡ-65、HNWK-66及HNWK-72）含有较多的CuO、Na_2O和K_2O，而SiO_2的含量略低，前者CuO皆大于2%，个别样品如HNWKⅡ-70的CuO则高达9.02%，后者皆小于2%。

利用pXRF对西周中期的另一批料珠和料管（HNWKⅢ-60~81）进行了测试分析[11]，该批料珠和料管的主要化学成分SiO_2的含量有一定差别，按照SiO_2和Al_2O_3的含量高低可将其分为三类。第一类样品如包括HNWKⅢ-61、HNWKⅢ-65、HNWKⅢ-67~70、HNWKⅢ-72~74、HNWKⅢ-76，其SiO_2含量较高（大于92%），而Al_2O_3含量较低（小于2%），SiO_2含量为92.01%~97.92%，次要化学成分为Al_2O_3（0~1.66%）、CuO（0.49%~4.28%）、K_2O（0.85%~1.50%）、P_2O_5（0.28%~1.62%），其他氧化物如Na_2O、MgO、CaO和Fe_2O_3等含量皆小于1%。其中，SiO_2含量最高（约98%）的料管样品HNWKⅢ-76的CuO含量明显低于料珠样品，仅为0.49%，不含Al_2O_3。第二类样品包括HNWKⅢ-60、HNWKⅢ-62~64、HNWKⅢ-71、HNWKⅢ-77~79，其SiO_2含量较低（小于90%）而Al_2O_3含量较高（大于5%），SiO_2含量为70.20%~89.79%，Al_2O_3含量为5.31%~10.56%，次要化学成分CuO的含量与第一类较接近，为1.25%~4.05%，而P_2O_5和K_2O略高于第一类样品，一般都大于1%，P_2O_5为0~5.65%，K_2O为1.38%~4.04%。其中，SiO_2含量最低（约70%）的料珠样品HNWKⅢ-62的P_2O_5、K_2O和CuO的含量也明显高于其他样品。第三类样品介于前两者之间，包括HNWKⅢ-80和HNWKⅢ-81，其SiO_2含量分别为90.80%和91.90%、Al_2O_3含量分别为4.41%和4.54%，其他氧化物如CuO含量分别为2.09%和0.36%、K_2O含量分别为1.36%和1.64%、P_2O_5含量分别为1.26%和0.93%。

SEM表面形貌分析表明，样品HNWKⅡ-65、HNWKⅡ-73-1中存在明显的玻璃相（如图5.9b、c中灰黑色片状区域），未熔融的石英颗粒散布其间[如图5.9b的（001）点]或呈不规整小片状、块状分布[如图5.9c的（001）、（004）点所在区域]，玻璃和未熔晶体相互胶结在一起。SEM-EDS点扫描分析（表5.7）显示，样品中石英颗粒（HNWKⅡ-65-p1、HNWKⅡ-73-1-p1及HNWKⅡ-73-1-p4）的SiO_2含量皆在95%以上；其次是Al_2O_3（含量为3%左右），其他氧化物如Na_2O、MgO、K_2O、CaO、MnO、FeO、CoO及ZnO的含量都小于1.3%。样品中玻璃相（HNWKⅡ-65-p2、HNWKⅡ-65-p3、HNWKⅡ-73-1-p2及HNWKⅡ-73-1-p3）的SiO_2含量则相对较低（85.83%~87.48%），并含有很高的CuO（7.24%~11.39%），其他氧化物的含量与石英颗粒差别不大。值得注意的是，最近在料管样品HNWKⅡ-81-1中检测出富钠颗粒[如图5.9d（003），Na_2O含量在3.49%~8.69%之间，如HNWKⅡ-81-s3]。此外，料管样品HNWKⅡ-80-1中也检测出有富钾的颗粒（K_2O含量在5%~13%之间）。说明西周中期料管制作过程中引入了富钠和富钾的原料。

3）西周晚期

西周晚期的料管，主要化学成分为SiO_2（81.10%~94.00%）；次要化学成分为CuO（1.36%~3.24%）、P_2O_5（1.05%~6.20%）、Al_2O_3（1.39%~4.57%）、CaO（0.32%~6.65%）及少量的Na_2O及K_2O等。与西周中期的料珠相比，西周晚期料管的SiO_2和P_2O_5含量略高，而CuO和Al_2O_3的含量相对较低[11]。

SEM表面形貌分析表明，样品HNZZ-85存在明显的玻璃相，在扫描电子显微镜下呈灰黑色片状，与未熔的石英颗粒存在一条明显的分界线，石英颗粒不规整，呈灰白色，较亮（图5.9e）。SEM-EDS点扫描分析（表5.7）显示，样品中石英颗粒（HNZZ-85-p3、HNZZ-85-p4）的SiO_2含量在90%以上，Al_2O_3含量为3%左右；HNZZ-85-p3与HNZZ-85-p4相比，前者CuO的含量较高（为4.84%），而SiO_2的含量较低（为90.16%）。样品的石英颗粒中其他氧化物如K_2O、CaO、MnO、CoO及ZnO等的含量都小于1%。样品的玻璃相（HNZZ-85-p1、HNZZ-85-p2）中SiO_2含量则相对较低（为84.56%~88.11%），并含有很高的CuO（5.56%~11.36%），其他氧化物如MgO、K_2O、CaO、MnO、CoO及ZnO皆小于1.2%。SEM-EDS面扫描分析结果显示，样品的主要化学成分的含量为SiO_2 87.38%、CuO 6.15%、Al_2O_3 3.72%，其他氧化物如MgO、K_2O、CaO、MnO、CoO及ZnO皆小于1.1%（表5.7）。

4）春秋早期

春秋早期的料珠，主要化学成分为SiO_2（92.83%~95.37%）；次要化学成分为CuO（1.56%~2.77%）、P_2O_5（1.05%~6.20%）、Al_2O_3（1.10%~2.10%），其他氧化物如CaO、MgO、K_2O及Fe_2O_3含量皆小于1%，如样品HNWKⅡ-75-1和HNWKⅡ-78a（表5.6）。在扫描电子显微镜下可以清楚地看到，春秋早期的料珠HNWKⅡ-75-1也存在玻璃态，未熔的石英颗粒呈多种不规则形状（图5.9f）。SEM-EDS点扫描分析（表5.7）表明，样品中石英颗粒（HNWKⅡ-75-1-p1、HNWKⅡ-75-1-p4）中SiO_2含量皆大于89.8%，次要化学成分为Al_2O_3（2.48%~7.09%）、PbO（0.93%~1.25%）、ZnO（0.12%~1.10%），其他氧化物如Na_2O、MgO、K_2O、CaO、P_2O_5及SO_3等含量皆不高于1.1%。玻璃相（HNWKⅡ-75-1-p2、HNWKⅡ-75-1-p3）中SiO_2含量则相对较低（85.75%~86.01%），并含有很高的CuO（8.40%~9.17%），其他氧化物如MgO、K_2O、CaO、MnO、CoO、ZnO及PbO皆小于1.4%。SEM-EDS面扫描分析结果（表5.7）显示，样品的主要化学成分的含量为SiO_2 87.55%、CuO 6.51%、Al_2O_3 3.78%，其他氧化物如K_2O、CaO、FeO及PbO皆小于1%。

5）春秋中期

淅川下寺楚墓春秋中期的料珠，主要化学成分为SiO_2，按照SiO_2的含量高低可分为两种类型：

第一类样品的SiO_2含量最高，为92.13%~95.36%，次要化学成分为Al_2O_3（2.30%~3.65%）和P_2O_5（0.84%~1.31%），其他氧化物如MgO、CaO、Na_2O、K_2O、Fe_2O_3和CuO含量皆小于1%，如HNWKⅡ-24（表5.6）。

第二类样品的SiO_2含量相对较低，为66.43%~84.19%，皆小于85%；次要化学成分的含量相对较高，主要有Al_2O_3、CuO、SO_3、CaO、P_2O_5、Na_2O、K_2O、MgO和Fe_2O_3，其化学成分分布范围为Al_2O_3 5.61%~10.26%、CuO 0.78%~5.26%、SO_3 1.48%~7.86%、CaO 0.44%~3.88%、

P_2O_5 0.12%~1.16%、Na_2O 0.58%~2.18%、K_2O 1.02%~3.40%、MgO 0.74%~2.40%、Fe_2O_3 0.80%~2.36%，如样品HNWKⅡ-22和HNWKⅡ-26（表5.6）。

6）春秋晚期

淅川下寺楚墓春秋晚期前段的料管和料珠以及叶县旧县4号墓春秋晚期的料珠[13]，其主要化学成分SiO_2含量分布范围为85.65%~90.10%；次要化学成分为Al_2O_3、CuO，其化学成分分布范围为Al_2O_3 1.39 %~6.05%、CuO 1.24%~5.50%，其他氧化物含量为K_2O 0.11%~2.73%、Na_2O 0~1.33%、SO_3 0.06%~1.12%，CaO、P_2O_5、Na_2O、MgO和Fe_2O_3的含量均小于1%，如样品HNWKⅡ-82、HNWKⅡ-30和HNWKⅡ-34（表5.6）。另有1个料珠样品HNWKⅡ-44的SiO_2含量相对较低，为76.95%，而CuO的含量较高，达11.19%，Al_2O_3的含量为4.61%，K_2O 的含量1.47%、Na_2O 的含量1.10%、MgO的含量1.02%，其他氧化物如SO_3、P_2O_5、CaO、Fe_2O_3和ZnO含量皆小于1%（表5.6）。该样品保存完整，表面呈鲜艳的蓝绿色，光泽度好。

结合其他地区出土釉砂的化学成分分析结果来看[10-15]，中国釉砂样品的主要化学成分以SiO_2为主，含量一般都在80%以上，部分样品含量在66%~80%。不同地区和不同时代的釉砂在SiO_2、Al_2O_3和CuO的含量上有一定的差异。根据三者的含量不同，可将这些釉砂分为三大类（表5.8）：Ⅰ型，数量最多，以SiO_2为主，CuO和Al_2O_3含量相对较低，其SiO_2含量一般大于82%，其中多数样品含量大于90%，CuO 和Al_2O_3含量皆小于5%，其他氧化物含量较少，这些釉砂的主体为石英砂，CuO为着色剂。助熔剂K_2O和Na_2O的含量一般都比较低，K_2O含量一般小于1%，少数在1.5%左右，个别在2%~2.5%之间，这可能与风化流失有一定的关系。西周早期的釉砂中K_2O含量略低于Na_2O，西周中晚期至春秋时期的釉砂，往往K_2O含量略高于Na_2O。Ⅱ型，约占24%，其Al_2O_3含量相对较高，均大于5%（5.07%~20.68%），SiO_2含量介于90%~63%之间，CuO的含量也不高，均低于4.5%。Ⅲ型，约占23%，其CuO含量较高，均大于5%（5.64%~11.53%），Al_2O_3含量较低，小于5%，SiO_2含量介于90%~76%之间。

总体而言，所分析釉砂中未熔融的石英砂颗粒较多，而玻璃相较少，局部区域具有富钾（K）、富钠（Na）及富铜（Cu）的特点，与助熔剂有关，而富铜-氯（Cu-Cl）以及富硫-钡-铜（S-Ba-Cu）区域可能与着色剂有关。

5.4 中国釉砂可能的助熔剂、着色剂和制作工艺

5.4.1 助熔剂

西亚和埃及早期的釉砂常用天然泡碱（Na_2CO_3，熔点850℃）作助熔剂，釉砂中皆含有较高的Na_2O。埃及釉砂制作使用的原料有磨碎的石英（或沙子）、少量的石灰石、泡碱或植物灰，以及孔雀石、蓝铜矿等含铜物质，塑性成型后，加热到700~900℃，表面的石英砂熔融后会出现一层Na_2O-CaO-SiO_2玻璃态釉层，内部石英颗粒只是表面熔融后烧结在一起。从中王国到新王国，埃及釉砂制品的胎体一般通过模塑成型（modelling）、衬芯法（core forming）以及衬芯-模塑成型（moulding on a form）等方式制作；表层的釉层则通过在成型时使用的

表5.8　不同地区和不同年代釉砂的主要化学成分特点

类型	特点	主要化学成分含量范围（%）					墓葬	年代
		SiO_2	Al_2O_3	CuO	K_2O	Na_2O		
Ⅰ	$SiO_2>82\%$，$CuO<5\%$，$Al_2O_3<5\%$	91.29~91.56	1.18~3.10	1.71~2.95	0.17~0.24	0.55~1.20	平应	西周早期
		89.06~94.82	0.94~3.79	0.89~3.50	0.08~0.54	0~1.77	平应	西周中期
		92.01~96.77	0~1.66	1.65~4.28	0.85~1.50		平应	西周中期
		97.92		0.49	1.43		平应	西周中期
		90.80~91.90	4.41~4.54	0.36~2.09	1.36~1.64		平应	西周中期
		87.40~94.41	1.39~4.57	1.36~3.24	0.18~1.73	0~0.61	平应	西周晚期
		82.97~94.16	0.70~2.93	0.80~2.63	0.30~2.02	0.30~2.51	运倗	西周
		96.12	1.17	1.07	0.41		枣郭	西周晚期
		93.54~97.95	0.99~3.06	0.59~1.46	0~0.85		枣郭	春秋早期
		92.83~95.37	1.10~2.10	1.56~2.77	0.18~0.34	0~0.81	平应	春秋早期
		92.13~95.36	2.30~3.65	0.39~0.96	0.17~0.43	0~0.40	淅下	春秋中期
		90.51~95.10	1.39~2.85	1.24~3.27	0.11~1.19	0~1.26	淅下	春秋晚期前段
		88.13	4.30	2.81	1.31	0.59	淅下	春秋晚期前段
		85.65	3.46	2.37	2.39	2.14	叶旧	春秋晚期
	$SiO_2>81\%$，$CuO<5\%$，$Al_2O_3<5\%$，$CaO>4.8\%$ $P_2O_5>4.8\%$	81.10~81.30	2.39~2.64	1.80~3.00	0.27~0.32	0.42~1.06	平应	西周晚期
Ⅱ	$Al_2O_3>5\%$，$CuO<4.5\%$，$63\%<SiO_2<90\%$	70.20~89.79	6.28~10.56	1.25~4.05	1.38~4.04		平应	西周中期
		66.43~84.19	5.61~10.26	0~2.48	1.02~3.40	0.58~2.18	淅下	春秋中期
		76.95~89.39	5.50~11.19	1.76~4.61	0.79~2.73	0~1.50	淅下	春秋晚期前段
		88.08	5.46	1.47	1.07	1.55	运倗	西周
Ⅲ	$CuO>5\%$，$Al_2O_3<5\%$，$76\%<SiO_2<90\%$	83.18~85.26	2.08~2.26	7.16~9.07	0.35~0.38	0~1.69	平应	西周中期

注：平应：河南平顶山应国墓地；淅下：河南淅川下寺楚墓；叶旧：河南叶县旧县4号墓；枣郭：湖北枣阳市郭家庙墓地；运倗：山西运城市绛县倗国墓地。

碱水、浸灰法、涂釉法来实现[17]。

而表面分析和微区分析显示，中国釉砂主要采用富钾的助熔剂体系，同时也存在少量的富钠或富钠钾混合助熔剂体系。由于所分析的釉砂距今时间较长，存在不同程度的风化腐蚀，很容易导致助熔剂K_2O和Na_2O的流失[18]，因此，表面分析技术检测结果中K_2O和Na_2O的含量往往较低，甚至检测不到。即便如此，亦有个别样品中检测出含量相对较高的K_2O或Na_2O。例如，叶县旧县4号墓出土春秋晚期釉砂珠HNWKⅡ-82中K_2O和Na_2O含量分别为2.39%和2.14%；平顶山应国墓地出土西周中期料珠HNWKⅢ-62中K_2O含量为4.04%，不含Na_2O；枣阳郭家庙墓地的样品中含有3%左右的K_2O和11%左右的CaO。SEM-EDS微区分析也发现有富钾（K）和富钠（Na）区域，如平顶山应国墓地出土的西周早期样品HNZZ-81，其K_2O含量高达10%以上，而甘肃崇信于家湾墓地的样品则含有较高的Na，K含量较低[15]。

5.4.2 着色剂

中国釉砂以蓝、绿色调为主，均含有一定量的铜（Cu），CuO的含量多少与釉砂的深浅不具有明显对应关系。如深绿色料管HNWKⅡ-40和料珠HNWKⅡ-44中CuO含量分别高达5.50%和11.19%，而浅绿色料管HNWKⅡ-34和料珠HNWKⅡ-30中CuO含量分别为1.76%和1.49%[13]。中国釉砂珠、管常和绿松石质珠、管及孔雀石饰同时出土，如平顶山应国墓地[19]和淅川下寺楚墓[19-20]、苏州真山大墓[9]等。

此外，商周时期是中国青铜冶炼的鼎盛时期，西周时期青铜器的大量需求，使青铜冶炼和铸造作坊大量兴起。以河南为例，商周时期有多个青铜冶炼和铸造遗址，如商代的郑州商城[21]、西周时期的洛阳北窑村遗址[22]。青铜冶炼和铸造作坊大量出现，必然产生大量的青铜冶炼炉渣或矿渣，这些炉渣或矿渣富含大量的Cu和Si。平顶山应国墓地距郑州商城和洛阳都只有150 km左右，而淅川下寺楚墓距离郑州商城和洛阳也不足300 km，平顶山应国墓地和淅川下寺楚墓出土的釉砂珠、管很可能是将石英砂磨碎后加入青铜冶炼后的炉渣或矿渣，再在低温下熔制而成的釉砂。由于助熔剂含量较少，难以达到熔炼玻璃的条件，以致大量的未熔石英砂晶体残存其中。

由此，釉砂中着色剂铜（Cu）的来源可能与含铜矿物（如绿松石、孔雀石或碱式氯化铜等）或青铜冶炼炉渣有关。

5.4.3 制作工艺及其技术渊源

关于中国釉砂的制作工艺，以往主要有三种观点：其一，用较纯的石英粉末加含有K、Na等元素的助熔剂和铜着色剂一次成型后再低温烧结而成[2, 23-24]；其二，以冶炼青铜的矿渣加黏土在低温下熔制而成[2, 23-24]；其三，以少量黏土（生土或沉积土）掺和大量石英砂成型后，滚沾上含铜的着色剂，然后低温烧制[25]。

根据釉砂的科技分析结果，从其化学成分和结构特点来看，我们认为具有高硅低铝特点的釉砂样品，其原料主要是较纯的石英砂，将石英砂磨成粉，加少量含有K、Na等元素的助熔剂和铜着色剂一次成型后，再低温烧结而成。如平顶山应国墓地出土的西周早期至春秋早

期、淅川下寺楚墓出土的春秋时期、叶县旧县4号墓出土的春秋晚期的少量釉砂。而具有高铅低硅特点的釉砂，原料中可能含有黏土，黏土掺和大量石英砂成型后，加入含铜的着色剂，然后低温烧制，如平顶山应国墓地出土的西周中期、淅川下寺楚墓出土的春秋中晚期的釉砂。最近，秦颖[14]和谷舟[16]等人通过模拟实验，认为西周至春秋早期的釉砂采用了先用石英粉等原料成型、再“施釉”的工艺制作而成。

所分析釉砂常与绿松石、孔雀石、红玛瑙、红玉髓等玉石等一起组成串饰，在器形主要为圆形、管状、菱形、算珠形等珠和管，在功能上主要是为了仿制绿松石、孔雀石等玉饰。在平顶山应国墓地、淅川下寺楚墓、苏州真山大墓等墓葬出土有很多与釉砂相似器形的绿松石和孔雀石珠、管[9, 19–20]。不难看出，釉砂和绿松石、孔雀石珠饰在使用上存在密切关系。而在中国黄河和长江中下游地区出土的战国时期的绿松石、釉陶和玻璃器中都有管和带有乳钉纹装饰的管饰等器型，说明釉砂制作也对绿松石饰件的制作产生了影响。

综上所述，结合时代背景，中国釉砂的助熔剂和制作工艺可能与当地或区域性手工艺技术密切相关，富钾助熔剂是中国釉砂的显著特色，如河南平顶山应国墓地的含有富钾微区的釉砂制品，可能是采用富钾的矿物或硝石等原料为助熔剂，并以含铜的矿物或青铜冶炼炉渣为着色剂，再进行低温烧制而成；而富钠助熔剂颗粒的发现说明，西周中期釉砂的烧制可能受到西方釉砂技术的影响；值得注意的是，湖北枣阳郭家庙墓地的富钾钙（K–Ca）的釉砂样品可能与楚国当时的技术有关，战国时期楚国已经成功烧制出了钾钙硅酸盐玻璃制品[26]；而甘肃崇信于家湾墓地的富钠（Na）釉砂珠可能受到西方釉砂影响。此外，于家湾墓地釉砂样品GCYF–1中较高的硅（Si）、钡（Ba）、铜（Cu）和硫（S）则可能与中国蓝（Chinese blue，$BaCuSi_2O_6$）工艺有关[15]。而在春秋战国时期的确存在一类硅酸盐制品——含有铅钡玻璃相，但玻璃化程度不高，并且以中国蓝、中国紫和中国深蓝等硅酸钡铜系人工合成无机颜料呈色的。目前，学术界对此类器物还没有一个统一的称谓，暂称之为“铅钡釉砂”[27]，以区别于以石英砂为主采用含K_2O或Na_2O碱性助熔剂制作的釉砂。战国以后，釉砂逐渐消失，各种体系的玻璃制品蓬勃发展。

参考文献

[1] 王世雄.宝鸡、扶风出土的西周玻璃的鉴定与研究[M]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1984：131–137.
[2] 杨伯达.西周玻璃的初步研究[J].故宫博物院院刊，1980（2）：14–24.
[3] 洛阳市博物馆.洛阳庞家沟五座西周墓的清理[J].文物，1972（10）：20–28.
[4] 北京市文物研究所，等.1995年琉璃河遗址墓葬区发掘简报[J].文物，1996（6）：16–27.
[5] 安家瑶.我国古代玻璃研究中的几个问题[M]//《中国考古学研究》编委会.中国考古学研究.北京：文物出版社，1986：337.
[6] 李家治.我国瓷器出现时间的研究[C]// 中国硅酸盐学会.中国古陶瓷论文集.北京：文物出版社，1982：94–101.
[7] 后德俊.楚国的矿冶、髹漆和玻璃制造[M].武汉：湖北科学技术出版社，1995：60.
[8] 河南省文物研究所，等.淅川下寺春秋楚墓[M].北京：文物出版社，1991：314–319.

[9] 苏州博物馆.江苏苏州浒墅关真山大墓的发掘[J].文物,1996(2):3,6–23,99–100.
[10] 容镕.周代古玻璃是我国自创的[J].中国科技史杂志,1981(3):95–100.
[11] 董俊卿,胡永庆,干福熹,等.河南平顶山应国墓地出土蓝绿色料珠和料管的分析[M]//河南省文物考古研究所,平顶山市文物管理局.平顶山应国墓地.郑州:大象出版社,2012:847–862.
[12] 干福熹,胡永庆,董俊卿,等.河南平顶山应国墓地出土料珠和料管的分析[J].硅酸盐学报,2009,37(6):1005–1016.
[13] 李青会,董俊卿,干福熹.中国早期釉砂和玻璃制品的化学成分和工艺特点探讨[J].广西民族师范学院学报:自然科学版,2009,15(4):31–41.
[14] 秦颍,陈茜,李小莉,等.湖北枣阳郭家庙曾国墓地出土"石英珠"(釉砂)的测试分析及其制作工艺模拟实验分析[J].硅酸盐学报,2012,40(4):567–570.
[15] Zhang Zhiguo, Ma Qinglin. Faience beads of the Western Zhou Dynasty excavatedin Gansu Provice, China[M]//Gan Fuxi, et al. Ancient Glass Research along the Silk Road. Singapore: World Scientific Publishing, 2009: 275–289.
[16] Zhou Gu, Zhu Jian, Xie Yaoting, et al. Nondestructive analysis of faience beads from the Western Zhou Dynasty, excavated from Peng State cemetery, Shanxi Province, China[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2014, 29(8): 1438–1443.
[17] Nicholson Paul T. Egyption faience and glass[M]. Buckinghamshire: Shire Pulication Ltd., 1993.
[18] 刘松,李青会,干福熹.古代玻璃样品表面因素对便携式X射线荧光定量分析的影响[J].光谱学与光谱分析,2011,31(7):1954–1959.
[19] 董俊卿,干福熹,承焕生,等.河南境内出土早期玉器的初步研究[J].华夏考古,2011(3):30–50.
[20] 河南省文物考古研究所,河南省丹江库区考古发掘队,淅川县博物馆.淅川下寺春秋楚墓[M].北京:文物出版社,1991.
[21] 李秀辉.中国古代的铸造技术[M]//韩汝玢,柯俊.中国科学技术史:矿冶卷.北京:科学出版社,2007:633–636.
[22] 李京华.冶金考古[M].北京:文物出版社,2007:34–42,83–118.
[23] 张福康,程朱海,张志刚.中国古琉璃的研究[J].硅酸盐学报,1983,11(1):67–75.
[24] 王世雄.陕西西周原始玻璃的鉴定与研究[J].文博,1986(2):26–30.
[25] 彭子成,周泰禧,李学明,等.对宝鸡市強国墓地出土料器的初步认识[M]//宝鸡市博物馆.宝鸡市強国墓地.北京:文物出版社,1988:646–650.
[26] Liu Song, Li Qinghui, Gan Fuxi. Chemical analyses of potash-lime silicate glass artifacts from the Warring States Period in China[J]. Spectroscopy Letters, 2015(48): 302–309.
[27] 付强,赵红霞,董俊卿,等.河南宝丰和新郑出土硅酸盐制品的无损分析研究[J].光谱学与光谱分析,2014,34(1):257–262.

第6章　西方古代玻璃技术的发展

干福熹

古代西方玻璃的发展历史，几乎与古代文明史的发展同步。人们在建立国家、城市与文字的同时，也使用了人工制造的陶器（pottery）、青铜器（bronze）和玻璃器（glass）。根据考古发掘的文史记载，大概在公元前2000年到公元前1500年，玻璃在西亚就开始出现。所以，玻璃在西方的知名度，正如瓷器（porcelain）在中国一样，是无可争议的。

从18世纪开始，历史学家和考古学家们开始注意中东地区的古代玻璃的出土和玻璃的制造历史。不仅出土了不少玻璃器，也发现了制造玻璃的窑址。据说公元前11世纪位于埃及的利什特（Lisht）就有玻璃作坊，但考古学家真正发掘出玻璃作坊的是在目前以色列的杰来米（Jelemise），约为公元前350年的遗址。发现大量的玻璃碎片和剩余玻璃，但没有发现熔炉，同时也发现了有关描述玻璃配方和玻璃窑建造的历史记载。关于釉最早记载于公元前18世纪，如今巴格达附近的泰勒-乌玛尔（Tell-Umar）地区出土的一片泥版文书，用楔形文字记载了釉的制作工艺。有关玻璃的记载，就推有名的亚述的玻璃制造泥版文本（Assyrian cuneiform glassmaking text），时间大约在公元前7世纪。该泥版文本（图6.1）发现于尼内文（Nineveh）的纳波（Nabu）墓

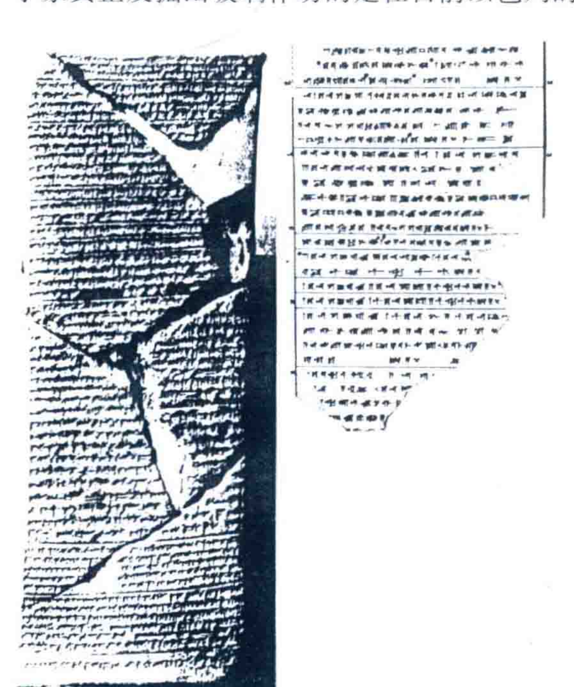


图6.1　亚述的玻璃制造泥版文本（约公元前7世纪）

中。因为它用的也是楔形文字，因此文字破译、石刻碎片的收集和拼接，以及用现代化学知识来理解，花费了不少时间，直至20世纪20—30年代才有较完整的介绍[1-2]。泥版文本记载了有关玻璃原料的配制，一些内容至今还有争议。

近代介绍有关玻璃制造的书籍为1612年奈尼（Neri）出版的《玻璃的艺术》，它系统介绍了玻璃原料及制备，被译成多种文字，对欧洲玻璃制造的发展有重大影响。1797年英国*Encyclopaedia Britannica*（《大不列颠大百科全书》）还引用了它的玻璃配方。

18—19世纪就有比较系统介绍西方古代玻璃发展的文章，首先是在文物的考察方面做了一些记载[3-4]。从20世纪开始，玻璃科技工作者注意到玻璃历史的研究，比较系统的有20世纪20—30年代B. Neumann[5-6]的工作以及50—60年代W. E. S. Turner[7-8]和丸山次雄（T. Maruyama）[9]的工作。20世纪下半叶已有介绍玻璃历史的书籍出版[10-13]。每3年一次的国际玻璃大会上都有古代玻璃和玻璃考古的学术研讨会，而且每次都出版了论文集。美国康宁玻璃博物馆（The Corning Museum of Glass）也出版了一系列很有影响的书籍[14-15]。

20世纪开始有一些大的博物馆和大的玻璃公司开始收藏古代玻璃，建立了专门的玻璃博物馆和展览室，使人们日益了解世界玻璃技术的发展。

本章介绍西方玻璃技术的发展。这里“西方”是指以中国为轴线向西，主要包括欧洲和西亚。以出土的玻璃文物、玻璃化学成分和制造工艺作为介绍玻璃技术发展的主要方面。参考了《全球通史》[16]，以世界历史文化发展的阶段为顺序，即按古代文明、古典文明、中世纪文明和近代文明等来分节叙述。在各个文明时代中，分地域叙述玻璃技术的发展。

6.1 古代文明时代的玻璃

玻璃出现于史前的西亚，史料的有关记载最早源于《旧约全书》的约伯纪第28章，讲到“黄金与玻璃不能与智慧相比”。《旧约全书》成书于公元前400年左右，地处西亚。另一处记载于大普里尼（Pliny the Elder）的自然史，描述了腓尼基（Phoenicia，现黎巴嫩地域）商船在伯鲁斯（Belus）河的地中海入口，用载运的碱块当石头支起锅子来烧饭，与海滩的石英砂反应，火底下流出玻璃。故事的真实性暂不讲它，但伯鲁斯河位于目前以色列（Israel），也在西亚。该书写于170年。考古的成果远比文史描述可靠，下面的介绍主要以科学考古为主要依据。

在叙述古代玻璃之前，有两类材料需要先介绍，它们的制品还不全是玻璃态的。一类被国外考古界称为费昂斯（faience），我们称之为釉砂，前面章节已有介绍。把石英砂、碱和石灰石混在一起烧，由于熔化温度低（700~800℃），只能烧结而不能熔化混合物，制成料芯后，在外层上涂一层釉料（glaze），再烧成制品。这类制品很像中国的原始瓷，但它的胚体是石英砂。另一类由上述石英砂、碱和石灰石的混合体在更高的温度（1 000℃）烧成，其中玻璃相的含量更高，称费列特（frit），我们称之为玻砂（玻璃和石英砂的混杂），把它磨成粉末后可作涂料，也可再熔化制成玻璃。图6.2、图6.3为釉砂和玻砂的扫描电镜照片，其中白色为玻璃相，灰色为石英颗粒，黑色为气孔。

这两类制品是玻璃器的先驱。最早的出土文物约在公元前2500年，随着玻璃制品的

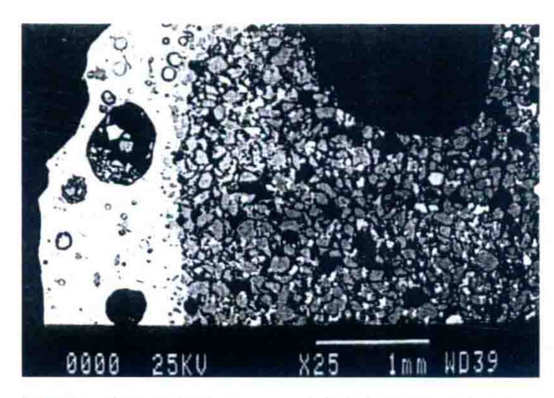


图6.2　埃及的釉砂（faience）的扫描电镜照片（公元前1000年）[10]



图6.3　罗马的玻砂（frit）的扫描电镜照片（200年）[10]

产生，釉砂类的制品还单独发展，一直延续到500年。埃及的彩色釉砂（faience）是很著名的，釉料中含有颜料（硅酸钙铜）。图6.4展示的公元前2000年左右的河马（Hippotauus）型的釉砂制品，收藏于美国大都会艺术博物馆（Metropolitan Museum of Art）。当时大量的蜻蜓眼釉砂与自然玉石组成项链，制造于公元前1500年，收藏于开罗埃及国家博物馆，见图6.5。

图6.4　釉砂河马（美国大都会艺术博物馆藏）

玻砂的进一步发展是用在制作镶嵌玻璃上，也称马赛克（mosaic）。用玻砂粉料再熔化，制成小块不透明的玻璃（其中也含有一些晶粒），然后拼接成图案，这技术起始于公元前500年。有专门的著作介绍釉砂和玻砂[17-18]。

另一类很值得介绍的是古代中东和埃及地区的釉陶，即在大型陶砖上涂釉，构建成墙壁和大门，盛行于公元前1000—公元前500年。目前世界上各大博物馆皆有收藏。图6.6为狮子型



图6.5　由蜻蜓眼釉砂和玉石组成的项链（公元前1500年，开罗埃及国家博物馆藏）



图6.6　狮子型釉陶砖墙（前604—前562，加拿大皇家安大略博物馆藏）

釉陶砖墙，制造于公元前604—公元前562年，藏于加拿大皇家安大略博物馆（Royal Ontario Museum）。

6.1.1 两河流域古代玻璃

根据考古发掘，最早的古代玻璃发现于幼发拉底河（Euphrates）和底格里斯河（Tigris）之间的两河流域，称为美索不达米亚（Mesopotamia）。最早的制品还不是玻璃态的，即称为玻砂。随着玻璃熔制温度的提高，到青铜时代的后期，即从公元前2500年至公元前1000年，人们已经能制备全为玻璃质的制品。最早用卷芯法（core forming）制备，制备过程见图6.7，即用黏土与有机物（如粪便）做成芯子，然后芯子上浇铸或卷粘熔融玻璃后成型，在未凝固玻璃表面可以再粘上不同颜色的玻璃丝或条，形成多色的卷丝。

贝克（H.C. Beck）[19]根据芝加哥大学东方研究所在伊拉克出土的几块玻璃碎片，认为美索不达米亚地区的玻璃制造始于公元前2500年，玻璃碎片现收藏于英国大英博物馆。完整的玻璃器如图6.8所示，为公元前1300年出土于美索不达米亚的乌尔（Ur）地区名叫Kassite墓的玻璃瓶子，是当时典型的制品。

公元前16世纪从美索不达米亚出现的玻璃器皿制造技术，很快传播到叙利亚（Syria）、塞浦路斯（Cyprus）、埃及和爱琴（Aegean）海地区，成为当时玻璃制造技术的起源。

自公元前13世纪到公元前9世纪，由于美索不达米亚地区战祸较多，外族的入侵使玻璃制造水平有所衰退。但是到公元前9世纪，在犹太王国（现耶路撒冷，Jerusalem）大卫王（King David）和所罗门王（King Solomon）时期，玻璃制造又有所复苏。这时已采用浇铸技术（casting），并且浇铸的制品经过热焊接并进行冷加工，能制成如图6.9所示的玻璃花瓶（前725—前705），造型比较复杂，制品比较精美，花瓶以亚述王赛贡二世（Sargon Ⅱ）命名。

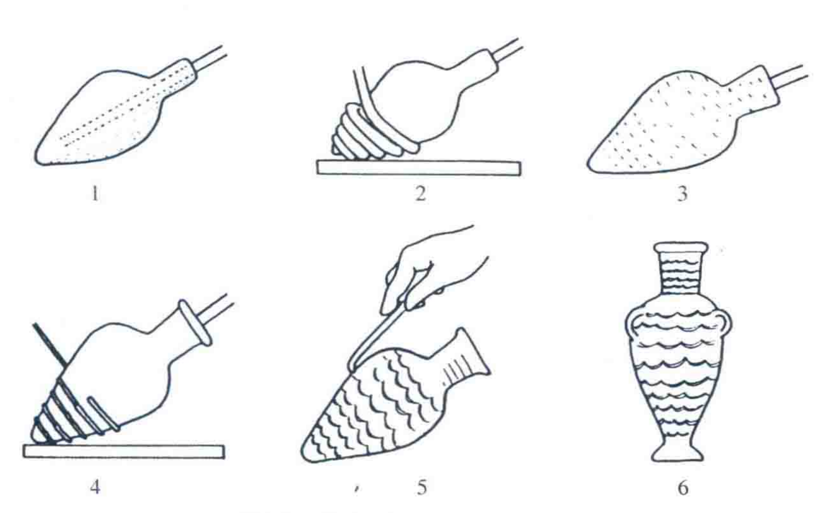


图6.7 卷芯法制造玻璃容器的过程

1—卷芯的制成；2—围绕卷芯粘上玻璃丝带；3—将玻璃带滚均匀；4—将彩色玻璃丝带再粘上；5—将表面拉成羽毛状；6—装上手柄成制品



图6.8 最早用卷芯法制备的瓶子（英国大英博物馆藏）



图6.9 赛贡花瓶（前725—前705，英国大英博物馆藏）

根据Neumann和Turner公布的美索不达米亚地区早期（公元前800年左右）的玻璃化学成分[6-7]（表6.1），其为典型的钠钙硅酸盐玻璃。作为钠钙硅酸盐玻璃系统，当时制备玻璃的原材料是石英砂。其作为SiO_2的来源，来自海边和河滩，其中也包含一些甲壳纲动物的外壳，以碳酸钙（$CaCO_3$）为主，可能为CaO的天然来源，当然石灰石（$CaCO_3$）矿物也普遍存在。碱金属氧化物（Na_2O、K_2O）最早来源于草木灰，以后发现了天然的泡碱（Na_2CO_3），包含K_2O和MgO。氧化铝（Al_2O_3）和氧化铁（Fe_2O_3）是作为石英砂的杂质掺入的。但是可以看到，与以后埃及古代玻璃成分相比[6-7]，该地的玻璃具有较高的氧化镁含量，这主要与当地的玻璃原料有关，也可作为美索不达米亚制造的玻璃的特征。J. Henderson在他新出版的*Ancient Glass*（《古代玻璃》）一书中详细叙述了美索不达米亚地区以及埃及和叙利亚最早的玻璃化学成分[20]。

表6.1 美索不达米亚地区出土的古代玻璃的平均化学成分

化学成分	MgO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O
平均（%）	4.54	65.50	1.75	6.59	15.55	2.11

年代	比值		
	Al_2O_3/SiO_2	MgO/CaO	K_2O/Na_2O
公元前1500—公元前1400年	0.029	0.68	0.13
公元前800—公元前600年	0.007	0.60	0.12
公元前300年	0.033	0.75	0.20

从表6.1可见，不同年代玻璃的主要成分的比值，还是比较稳定的。可以认为这些出土的玻璃都是在美索不达米亚地区制造的。

在美索不达米亚地区出土的古代玻璃中，有一件事对研究中国古代玻璃是很有意义的。在尼姆罗特（Nidmrcud）地区出土的大概属于公元前6世纪的玻璃中，氧化铅（PbO）已作为主要成分，并且已应用CoO和Cu_2O分别作为蓝色和红色玻璃的着色剂，见表6.2[19, 21]。如果这结果是准确的话，这就是世界上最早的含铅玻璃。氧化铅的来源可能是方铅矿（galena），即为硫化铅（PbS）。

表6.2 美索不达米亚地区的铅玻璃的化学成分 （%）

组成	蓝色玻璃	红色玻璃	组成	蓝色玻璃	红色玻璃
SiO_2	57.78	59.5	PbO	15.83	22.82
Al_2O_3+ Fe_2O_3	2.92	4.35	CuO	1.19	
CaO	3.04	4.40	Cu_2O		13.59
K_2O+Na_2O	16.98	11.62	CoO	0.42	

6.1.2 埃及古代玻璃

古埃及制备釉砂的历史很早，可以追溯到埃及古王朝以前的前朝时代（Predynasty）的巴达林文化（Badarain，公元前2500年）时期，它一直延伸到古埃及王朝的覆灭，详见文献[18]。

埃及的玻璃制造一般认为从新王国开始和发展，早期最普通的玻璃制品为玻璃珠。公元前16世纪已有单色珠出现，到公元前15世纪也有彩色珠，而到公元前10世纪后，镶嵌珠（俗称蜻蜓眼）也已流行。图6.10为制备镶嵌玻璃珠的示意图，先制备套色的玻璃棒料（图6.10a），然后把切下的套色的“玻璃眼”镶入尚未完全固化的玻璃珠上（图6.10b）。上、下埃及再次统一后，埃及与两河流域有较多的贸易来往，玻璃器制造技术也有了新的发展。除了用卷芯法制备外，也用压铸法制备玻璃，从无模压铸发展到有模压铸。用耐火黏土作压模，使玻璃制品日益精美。特别在18王朝（前1570—前1293）及以后的时期，玻璃制品被法老（pharaoh）、贵族和主教用于装饰和葬礼，十分精致，如埃及年轻法老图坦卡蒙（Thtankhmun，前1334—前1325）的陪葬品用十分名贵的黄金面罩，蓝色眉毛用青金石，黑色部分用黑曜石，而假发的蓝条用玻璃。这种蓝色玻璃就是著名的“埃及蓝”或“尼罗河蓝”。图6.11展示了用压铸法制造的阿门诺菲斯第二（Amenophis Ⅱ，前1453—前1419）的玻璃头像，这是目前已知的最早一块玻璃头像[22]。玻璃是蓝色的，表面由于风化等原因变为黄褐色。图6.12展示了用改进的卷芯法制备的玻璃瓶，表面用不同颜色的玻璃镶嵌，并已做了玻璃手柄，制造时间约在公元前200年。

由于战争和饥荒，在公元前1200年后一段时间，古埃及也受到冲击，城市文化以及玻璃制造业水平下降，古埃及玻璃制造技术逐步移向地中海地区。

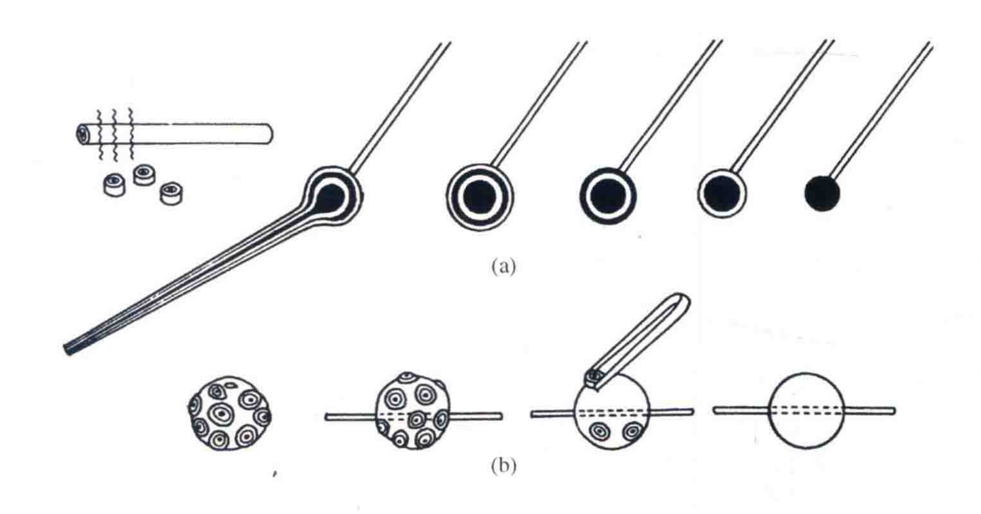


图6.10 镶嵌玻璃珠的制造流程

（a）套色玻璃料棒的制备；（b）镶嵌玻璃珠的制备



图6.11 阿门诺菲斯第二的玻璃头像（前1453—前1419）

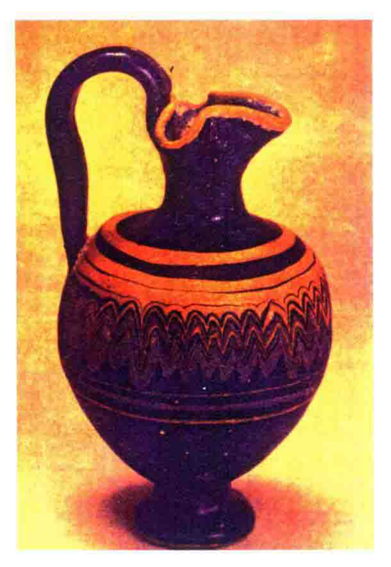


图6.12 有手把的、经浇铸和镶嵌的玻璃花瓶

从60多种古埃及玻璃的化学分析结果可以看到[15]，玻璃的化学成分是比较一致的，统计分析结果见表6.3。氧化铅（PbO）都是微量，有几个样品的含量在5%以下。氧化钡（BaO）的含量也是微量。玻璃的主要着色剂为铜（Cu）和锰（Mn），很少使用钴（Co）。所以，“埃及蓝”主要用Cu^{2+}着色，并以天然矿石（硅酸盐钙铜）为原料。从表6.3可知，这是典型的钠钙硅酸盐玻璃（$20R_2O \cdot 12RO \cdot 68SiO_2$），其中$K_2O$和MgO的来源较少，可能碱的主要来源为埃及知名的泡碱（Na_2CO_3）。

表6.3 埃及古代玻璃的化学成分统计

组成	SiO_2	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	Na_2O+K_2O	MgO+CaO	$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	比值	
										Na_2O/K_2O	CaO/MgO
范围（%）	60~70	15~21	1~3	6~11	3~6	1~4	17~22	10~16	64~70	7~20	1.4~2.3
平均（%）	65	18	2	8	4	2.5	21	12	68	15	2.0

6.1.3 克里特（Crete）及地中海沿岸的古代玻璃

克里特为地中海的一个岛，处在爱琴海与地中海之间，因此成为海运和海上贸易的中转和集散地。虽然地区不大，但有古老的米诺斯文明，大部分的居民和技术来自西亚，所以玻璃制造技术在此发源于公元前1000年。在这时期，地中海沿岸地区如叙利亚也提高了玻璃制造技术（卷芯法），使产品更为精美。图6.13为该地区用卷芯法制造的玻璃瓶，尺寸也比较大（3~4 in），这时已是古典文明的早期。



图6.13 卷芯法制备的地中海地区玻璃瓶（前600—前100）

6.2 古典文明时代的玻璃

古典文明时代当然以希腊和罗马作为代表。这是两种截然不同的，但又相互联系的文明。希腊文明形成于公元前800—公元前500年，接着又一个短暂的亚历山大帝国(Alexander，前336—前323)。约于公元前500年，罗马形成了独立的城邦。在公元前260年至公元前30年间罗马从共和国转变为帝国，至395年划分为东、西罗马而终止。玻璃的制造技术在这个时代有重要的发展。

6.2.1 希腊的古代玻璃

经过以腓尼基等船队的贸易交流，从铁器时代开始（公元前1000年左右）玻璃制造技术通过地中海和克里特岛从西亚传至希腊(Greece)。希腊古代玻璃制造技术约在公元前4世纪至公元前2世纪趋于成熟。卷芯法制备的玻璃瓶往往是仿希腊陶器的花纹，用来装香水和油膏。同样用浇铸法成形，然后再用冷加工的方法（研磨和抛光）制成尺寸更大的透明玻璃碗，如图6.14所示。

玻璃制品的应用日益广泛，希腊人生产的精美餐具已逐渐普及到人们的生活中。但是玻璃的主要化学成分并没有多大改变，还是以Na_2O-CaO-SiO_2系统为主，并且K_2O和MgO的含量皆低，PbO和BaO为微量。在着色方面，开始引入CoO和NiO。玻璃制品西边向地中海沿岸的意大利乃至西班牙扩散，东边向叙利亚、土耳其(Turkey)以及波斯(Persia)即现在的伊朗发展，为古典文明时代的两大主要帝国——罗马和波斯的玻璃制造技术打下基础。



图6.14 古希腊浇铸的抛光灰绿色玻璃碗（公元前200年）

6.2.2 罗马的古代玻璃

罗马古代玻璃至今闻名于世，主要由于在这个时代制造的玻璃传播到世界各地，而且玻璃的制造技术也有新的飞跃，具体如下。

1）玻璃吹制技术的诞生

玻璃吹制技术大约出现在公元前40年左右，最早在叙利亚产生，以后在罗马帝国内流传，成为制造玻璃的主要方法。吹制技术的过程如下：先用铁管沾上玻璃液，用人工吹制成玻璃器件。开始是无模具的自由成型，以后采用模具坯件从模中取出后，还可以趁热加工玻璃器皿的口、边、底等，然后再退火。图6.15为人工吹制玻璃的工场示意图。至今玻璃吹制技术仍为生产玻璃器皿的主要方法。只是机械代替了人工，整个生产过程已经自动化和智能化。玻璃吹制技术的诞生，使玻璃器皿可大量生产、价格也降低、应用也普及，成为人们生活的必需品，平民也拥有了简单的玻璃器皿。图6.16展示罗马时代生产的各种玻璃器皿。薄壁的玻璃香水瓶在当时是很流行的。吹制和模压技术相结合可以生产各种异形的制品。如图6.17所示，用吹制法可以在模具上自由成型（图6.17a），也可用压铸法，浇入玻璃液后用上、下模具压制成型（图6.17b）。技术持续发展到罗马帝国的末期。

2）雕花玻璃（cameo glass）

因为有了吹制技术，在玻璃壳上可以一层层套色。罗马玻璃制作注意到多种颜色和造型的套色玻璃。如果在套色玻璃器上用机械加工，把上层玻璃进行雕花并显示出底层的色





图6.15　人工吹制玻璃的工场

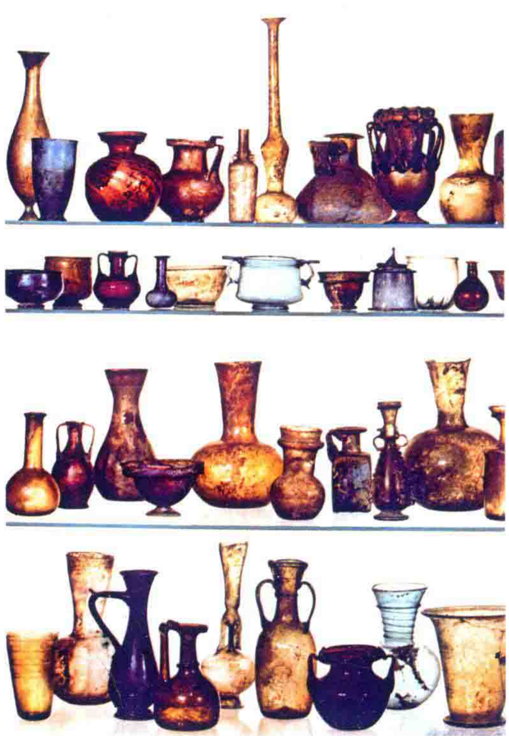


图6.16　最早的罗马吹制玻璃器皿（1—4世纪）

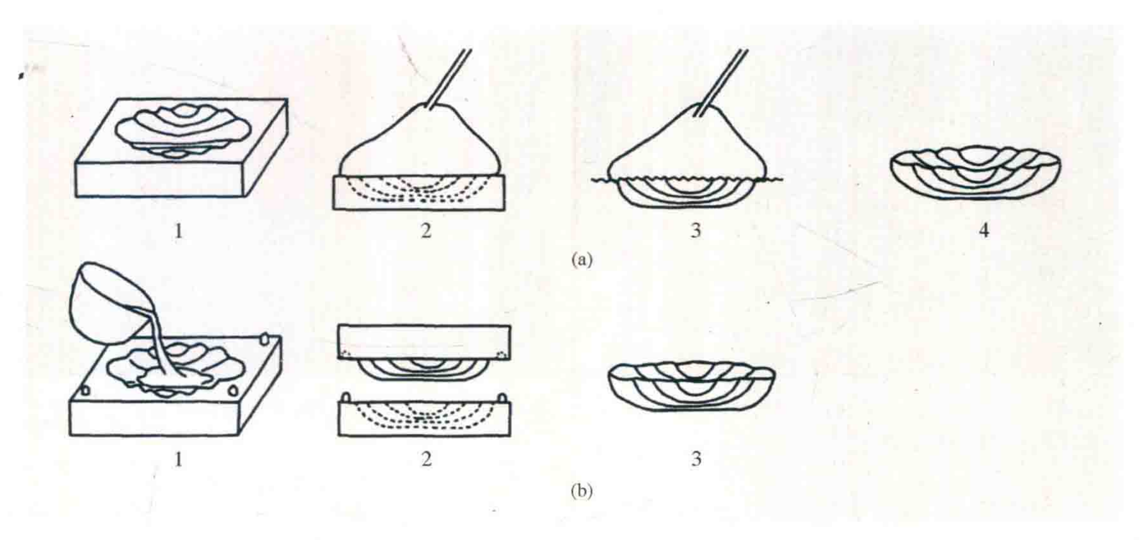


图6.17 用吹制法(a)和压铸法(b)制备玻璃盆示意图
(a-1)单面模具,(a-2)吹制玻璃泡,(a-3)自由压型,(a-4)玻璃盘;
(b-1)玻璃浇铸,(b-2)双模压型,(b-3)玻璃盘



图6.18 莫根雕花杯(公元前1世纪,美国康宁玻璃博物馆藏)



图6.19 罗马最著名的波特兰雕花玻璃花瓶(公元前1世纪,英国大英博物馆藏)

彩,这就制成了雕花玻璃。雕花玻璃始于公元前,在罗马早期和希腊晚期,如知名的莫根玻璃杯(Morgan Cup),这是至今保存最完整的早期雕花玻璃[23],见图6.18。罗马最著名的雕花玻璃为波特兰花瓶(Portland Vase),见图6.19。对于波特兰花瓶的来历、图案解释及保存历史,详见文献[24]。它是在用Co^{2+}着色的深蓝色的玻璃上套上乳白色的玻璃,然后在乳白色玻璃上雕刻图案,用蓝色的玻璃作底色。

3)镶嵌玻璃(mosaic glass)

镶嵌玻璃是把不同颜色的玻璃块按图案拼接一起,目前也称为马赛克(译音,用作建筑的材料)。最早的镶嵌玻璃产生于公元前15—公元前10世纪的美索不达米亚,已有镶



图6.20　英国巴斯浴池的海上野兽镶嵌玻璃（公元前1世纪，英国巴斯罗马浴池博物馆藏）

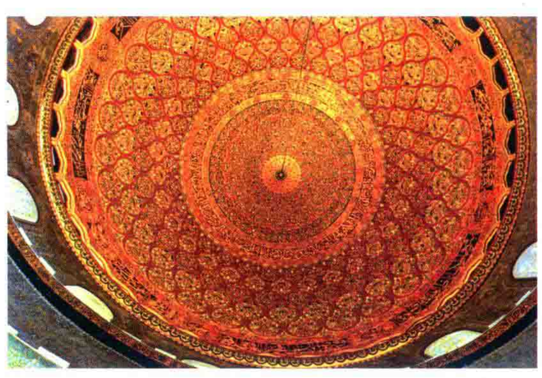


图6.21　耶路撒冷洛克教堂顶镶嵌玻璃装饰（公元前1世纪）

嵌玻璃杯碎片出土。完整的镶嵌玻璃目前出土于巴勒斯坦和埃及，如象征埃及神Osiris的Apris水牛镶嵌玻璃。罗马帝国时期，镶嵌玻璃较广泛地应用于教堂、宫廷浴室和墙面装饰。图6.20为英国巴斯（Bath）的罗马时代宫廷浴室的镶嵌玻璃。图6.21为耶路撒冷洛克（Rock）教堂的顶部（dome）的镶嵌玻璃。该类玻璃的发展推动了颜色玻璃的制造技术。

4）搅料玻璃（twisted glass）

搅料玻璃也称绞丝玻璃，是指把不同颜色的玻璃绞在一起（有时加入金属丝），软化成型后冷加工（抛光）。这种工艺产生于罗马早期，图6.22展示了彩带玻璃碗。

罗马帝国时代虽然在玻璃制造的工艺上有很大进展，但是在玻璃的化学成分上变化不多。罗马帝国的领土范围极广，但各地制造的玻璃化学成分比较一致。根据33个地方的600种玻璃样品成分的分析结果来看[15]，基本属钠钙硅酸盐玻璃（接近$20R_2O \cdot 10RO \cdot 70SiO_2$），其中$K_2O$和MgO的含量比较低，Na/K比的统计平均值为20，Ca/Mg比的平均值在15，接近埃及古代玻璃。PbO和BaO为微量。玻璃的着色剂主要为MnO、CuO、Fe_2O_3，一些深蓝色玻璃中含CoO。Sb_2O_3作为熔化过程的澄清剂（清除玻璃中的气泡）。据说古时制造乳白玻璃时常加入骨粉，这是引入氧化磷（P_2O_5）作为乳白剂。有些Sb_2O_3含量高的玻璃，Sb_2O_3也可作乳白剂。金（Au^0）和银（Ag^0）的纳米颗粒已在一些玻璃中作着色剂，即金-红和银-黄。这是在应用着色剂方面的一大进步。

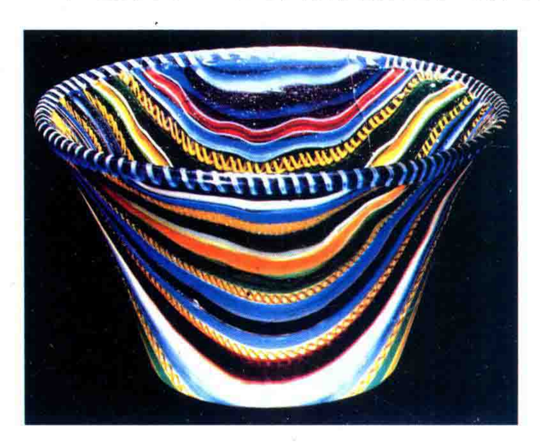


图6.22　彩带玻璃碗（前1—公元1世纪）

6.2.3　波斯的古代玻璃

从公元前9世纪起，波斯与西亚的亚述和巴比伦等国家已有不断的战争和来往，玻璃制造技术已经从西亚流向波斯。建立于公元前6世纪的波斯帝国，地跨亚、非、欧三

洲，交流就更为广泛。以后再经亚历山大帝国的统一后又分裂。波斯文化经常被划在罗马帝国范围内。但是从玻璃文化和技术背景来看，波斯在公元前的玻璃制造技术主要来自叙利亚和美索不达米亚地区，很早已有卷芯法和浇铸法这些制造玻璃的技术。美国康宁玻璃博物馆保存着公元前8世纪的高足玻璃瓶，被认为从叙利亚或亚述传入，另有刻花玻璃盆，是公元前5世纪产于波斯的。在罗马帝国期间，玻璃制造技术和产品又有很多交流。建立在帕提亚（Parthia）的阿尔萨息王朝（前247—公元226），中国史书称之为安息国，古丝绸之路这条商道西段都在安息国境内。在伊朗吉兰（Gilan）高原，出土不少属帕提亚王朝的古代玻璃，对研究中国古代玻璃技术的中外交流很重要。伊朗古代玻璃技术发展到萨珊王朝（Sasanid Empire，3—5世纪），已有很高的水平，特别在切割和琢磨技术方面。图6.23展示了面切割和琢磨（蜂窝形）的玻璃花瓶，显示了波斯文化风格。它是以球腹部有成排的圆形纹饰口为特征，以无模吹制技术制备。至今最完整的萨珊王朝的六角形切面玻璃杯，在日本奈良正仓院长期密封保存，没有风化。波斯的古代玻璃制造技术和玻璃品的风格为以后伊斯兰玻璃打下了基础。

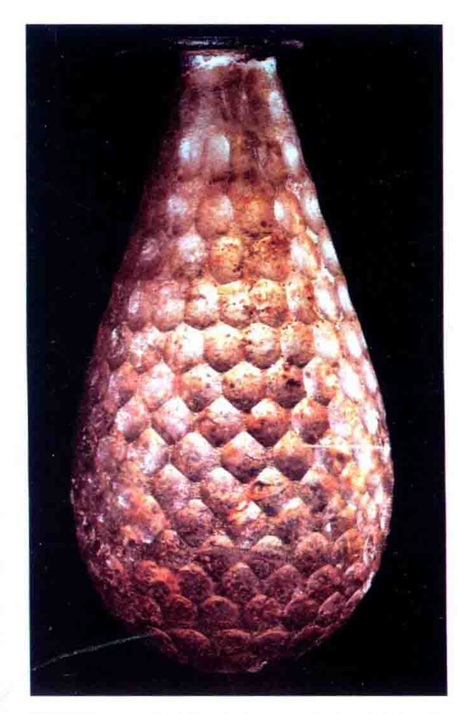


图6.23 蜂窝形面切割的波斯玻璃花瓶（6—7世纪，美国康宁玻璃博物馆藏）

波斯玻璃的化学成分基本上是（Na_2O+K_2O）·（CaO+MgO）·SiO_2系统，其中K_2O和MgO的含量较高，Na/K比值在5左右，而Ca/Mg比值在1~3之间。从Na/K和Ca/Mg的比值可知，波斯的古代玻璃成分接近美索不达米亚的玻璃。

6.3 中世纪文明时代的玻璃

中世纪的1 000年是战争频繁、宗教势力增强、政教合一的封建时代。这1 000年中玻璃技术的进步并不很大，但宗教对玻璃文化和艺术的影响颇深，出现了所谓“教堂（或清真寺）玻璃”，形成了以基督教为中心的东罗马的拜占庭玻璃（Byzantine glass）和以伊斯兰教为中心的伊斯兰玻璃（Islamic glass）。

395年君士坦丁大帝（Emperor Constantine）在位于希腊古城拜占庭（Byzantine）旧址建立新罗马即东罗马，而城市的名称也改为君士坦丁堡（Constantinople；君士坦丁堡即今伊斯坦布尔，Istanbul）。东罗马历时1 000多年，直到1453年落入土耳其奥斯曼（Ottoman Turk）人手中而结束。拜占庭帝国最强盛时，领土包括西亚、地中海沿岸各国，以后逐渐衰落。基督教为其国教，那时兴建了许多宏大的教堂，一部分在伊斯兰教传入时改为清真寺，但大部分欧洲教堂还保留至今。所谓教堂玻璃因此时而起。

7—9世纪，伊斯兰教的出现是世界历史上的一件大事。伊斯兰教出现和兴起于阿拉巴半岛，以后向东进入波斯，向西进入埃及，至中世纪末，已横跨欧亚大陆。伊斯兰教文明融合了犹太文化、希腊-罗马文化和波斯文化，因此玻璃制造技术也融合了美索不达米亚、埃及、罗马和波斯的玻璃制造技术。伊斯兰玻璃器皿也用无模吹制，发展了刻花、上釉、描金等技术，而在玻璃器的造型和装饰上却呈现了伊斯兰教的文化特色，以后也作为清真寺的主要装饰品和礼仪用具。

围绕着教堂玻璃，有两种玻璃制造技术在中世纪兴起：彩绘玻璃技术和珐琅化玻璃技术。

6.3.1 彩色玻璃(stained glass)技术

彩色玻璃，也称着色玻璃。其作为教堂的窗户，是教堂文化的一个重要组成。图6.24~图6.26展示了不同时代的彩色玻璃窗。耶路撒冷的洛克大教堂建于5世纪左右(图6.24)；德国科隆大教堂建于12世纪(图6.25)；法国巴黎圣母院的彩色窗户建于14世纪(图6.26)。当然，这些教堂玻璃历经气候风化和战争破坏，已经过多次装饰和更换，只保留了图案。

用于彩绘玻璃的平板玻璃是用吹制法获得。先吹制一个大的柱形玻璃壳，然后剖开摊平。因此，平板玻璃的尺寸由人工吹制能力所决定，不可能太大(1 m左右)。在平板玻璃上用颜料(pigment)进行彩绘，然后再次升温加热使颜料扩散而永久保留在玻璃上。由于玻璃尺寸不够大，因此要窗框镶嵌后拼接。彩绘玻璃窗发展至今，已成为专门的玻璃行业。它们的制作、修复和保护也已成为专门技术[25]。

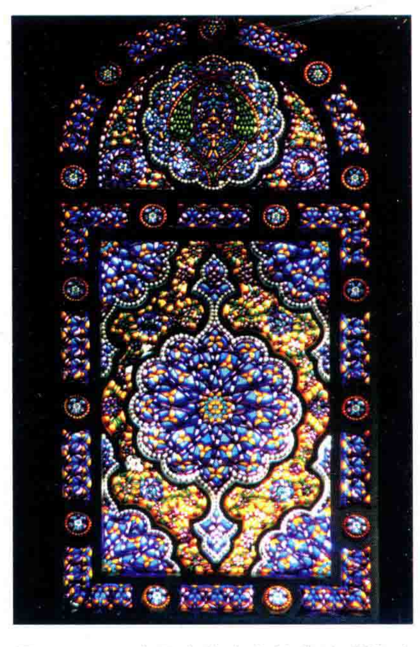


图6.24 耶路撒冷洛克大教堂的彩绘玻璃窗(5世纪)



图6.25 德国科隆大教堂的彩绘玻璃(12世纪)

彩绘玻璃的基板玻璃成分随时代而有所变化。10世纪或以前的为钠钙硅酸盐，其中K_2O的含量较少，Na/K比值在10~20之间；MgO含量也不多，Ca/Mg比值在5~10之间。$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$的总量在65%~70%之间。以后的基板玻璃中K_2O的含量超过Na_2O，作为钾钙硅酸盐玻璃，Na/K比值在0.1~0.3之间。玻璃成分变化的主要原因为，使玻璃熔体的黏度随温度的变化慢（俗称料性长），易于成型。少数彩绘玻璃采用含PbO的硅酸盐，属K_2O-PbO-SiO_2系统，化学成分范围如下：$SiO_2+Al_2O_3$ 40%~45%、K_2O 15%~20%、PbO 25%~35%。铅硅酸盐玻璃也有较宽的黏度-温度范围，易于加工。但是，含K_2O玻璃的化学稳定性较差。

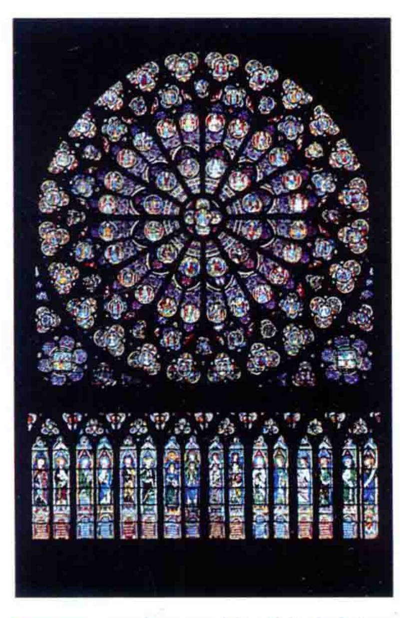


图6.26 巴黎圣母院的彩色窗户（14世纪）

最近三四年来，干福熹有机会访问了较近代的欧洲和北美的一些著名教堂，见到了一些有特色的“彩色玻璃”。例如，意大利威尼斯的圣马可大教堂（图6.27），它的建筑面饰是由镶嵌的马赛克和彩色玻璃拼接构成的。较少用大理石雕塑和油画。教堂中十分著名的祭坛四周面板用148块彩色涂金马赛克构筑制成。法国巴黎整个建筑用彩色玻璃构成的圣礼拜教堂（图6.28），是与巴黎圣母院同时代的皇家教堂。美国纽约三位一体教堂的彩色玻璃窗户（图6.29）、加拿大蒙特利尔（Montreal）圣母院由彩色玻璃构成的豪华主厅（图6.30），都是16—17世纪建造的。

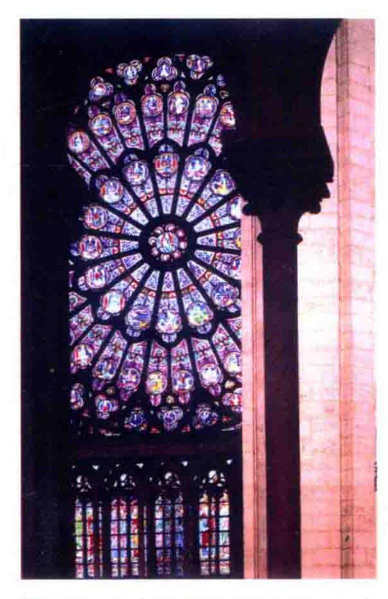


图6.27 意大利威尼斯圣马可大教堂的彩绘玻璃（14世纪）



图6.28 法国巴黎圣礼拜教堂的各部分彩绘玻璃照片（14世纪）

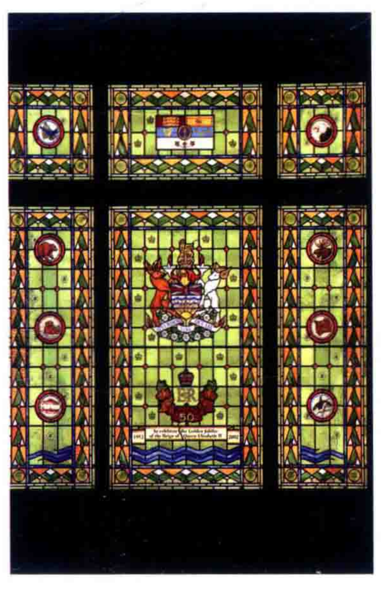


图6.29 美国纽约三位一体教堂的彩色玻璃窗户（16世纪）



图6.30 加拿大蒙特利尔圣母院由彩色玻璃构成的豪华主厅

6.3.2 珐琅化玻璃(enameled glass)技术

珐琅或称为搪瓷,是在金属上涂釉后烧成,一方面给金属涂上保护层,另一方面给金属以不同色彩。8—12世纪,珐琅技术用在玻璃器上,结合玻璃器表面涂金,给予玻璃器不同的风格,即玻璃的颜色与涂层和珐琅的色彩混合在一起。图6.31为制造于11—12世纪的一个镀金的和珐琅化的深色的玻璃碗,图案是罗马文化风格。图6.32为制造于14世纪的清真寺的吊灯,在烟灰色玻璃上珐琅化,这是伊斯兰文化风格。

珐琅化玻璃技术的发展,推动了釉彩的制作技术,因为涂层上的釉料与陶器上的釉料不同,它的颜料也与彩绘玻璃的颜料不同。珐琅化玻璃的化学成分基本上是钠钙硅酸盐玻璃,并且以低K_2O和MgO含量为主。

罗马溃灭后,西方基督教世界作为一种文明在欧洲的延续是加洛林(Calorine)帝国,最主要的是查理曼领导的法兰克(Frank)王国。加洛林时期虽然不是高度文化和文明繁荣昌盛的时代,但作为手工业性质的玻璃制造技术尤其吹制和雕刻技术有不少发展,特别在其统治的西欧地区(目前的德国、法国、西班牙、意大利等)。早期的法兰克锥形开普敦酒杯(图6.33),是德国代表性的玻璃制品,锥长26 cm,杯口绕上玻璃丝。图6.34展示了意大利的牛角形酒杯(6—7世纪),这是件精美的制品,先吹制成锥形,然后弯成牛角形,用乳白色玻璃丝绕在容器外部并粘上深蓝色的玻璃带。另一种在欧洲颇具代表性的是厚壁玻璃碗,碗面上还雕刻出突出的圆碟,见图6.35。这种造型起始于6—7世纪的波斯。12—13世纪进一步改进成用镀金的金属做碗框,以增加美观。



图6.31 镀金的和珐琅化的玻璃碗(11—12世纪,意大利威尼斯圣马可大教堂藏)

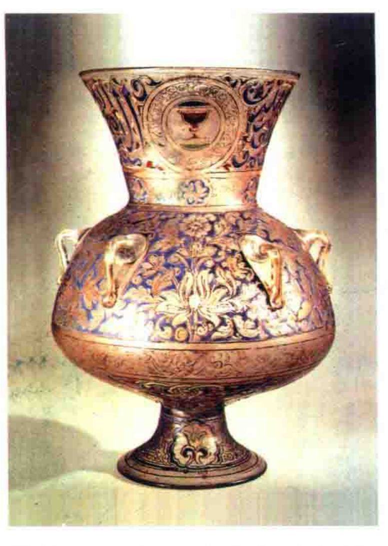


图6.32 珐琅化的烟灰色玻璃吊灯(14世纪,英国伦敦瓦伦收藏室藏)



图6.33 法拉克锥形开普敦酒杯(5—6世纪,英国大英博物馆藏)



图6.34 意大利的牛角形酒杯(6—7世纪,英国大英博物馆藏)



图6.35 碗面具有突出圆碟的厚壁玻璃碗(12—13世纪,意大利威尼斯圣马可大教堂藏)

在中世纪制造的460种伊斯兰玻璃和拜占庭玻璃样品的分析中,绝大部分为钠钙硅酸盐玻璃,化学成分比较一致。只有几种含PbO的玻璃,PbO含量高达60%~70%,而K_2O、Na_2O含量很少,属$PbO-SiO_2$玻璃系统。这是10—11世纪的玻璃器,未提到出土的来源[15]。

6.4 文艺复兴时期及17—19世纪的玻璃

6.4.1 威尼斯玻璃

文艺复兴(Renaissance,14—16世纪)最初开始于意大利,它对玻璃的文化也产生了深远的影响。最主要的是威尼斯(Venice)玻璃制作中心的兴起。威尼斯水晶玻璃是指薄壁、无色透明的钠钙硅酸盐玻璃,工艺技术流传至今。威尼斯的玻璃制品十分华丽,对

珐琅化玻璃技术有了新的发展。图6.36、图6.37分别展示了镀金和珐琅化的水晶玻璃高脚杯及用玻璃龙（西方的龙）作茎秆的高脚杯，分别产生于16世纪与17世纪。威尼斯玻璃制造技术在欧洲颇有影响，也推动了玻璃制品的应用，如17世纪建造的法国著名的凡尔赛宫（Palace of Versailles）中就有全用玻璃做装饰的（玻璃吊灯、玻璃壁镜、镶嵌玻璃顶等）玻璃大厅。这时期很多的玻璃制品现藏于意大利威尼斯的玻璃制作中心——慕兰诺（Murano）岛上的玻璃博物馆。威尼斯玻璃基本上属钠钙硅酸盐玻璃系统。



图6.36 镀金和珐琅化的水晶玻璃高脚杯（16世纪，意大利威尼斯慕兰诺玻璃博物馆藏）



图6.37 龙作茎秆的高脚杯（17世纪，意大利威尼斯慕兰诺玻璃博物馆藏）



图6.38 磨光水晶玻璃花瓶（19世纪，捷克布拉格装饰艺术博物馆藏）



图6.39 科尔姆高脚杯（19世纪，波西米亚造）

6.4.2 波西米亚玻璃

在奥匈帝国时期，德国、奥地利和捷克的玻璃制作有了很大进展。这个地区的玻璃统称为波西米亚（Bohemia）玻璃。德国玻璃用草木灰作原料，K_2O含量高，因此为钾钙硅酸盐玻璃。黏度-温度范围比较宽，因此易于成型，而且制备厚壁玻璃制品不易失透（结晶）。因为碱的原料来自森林，所以也称森林玻璃（waldglas）。17—18世纪玻璃雕刻工具和技术有了很大发展，因此雕花玻璃不仅质量很高，并且已大量生产、普遍应用。同时酸处理的磨砂技术也已产生，使雕花图像更美观。捷克以玻璃冷加工著名，盛产雕花玻璃。图6.38展示了19世纪捷克生产的磨光玻璃瓶。这也奠定了捷克以后在世界艺术玻璃中的地位。图6.39为著名的波西米亚玻璃高脚杯，称科尔姆高脚杯，它综合了精细的雕刻、刻画、彩绘和珐琅化技术。高脚杯是为纪念拿破仑战争中的科尔姆战役而命名的。

6.4.3 俄罗斯玻璃

公元元年前后釉砂制品从地中海传入俄国，6世纪已出现自制的镶嵌玻璃。从中世纪莫斯科公国开始，欧洲玻璃技术进入俄罗斯，彩绘教堂玻璃开始盛行。在文艺复兴后，俄罗斯的自然科学家们也重视玻璃的制作，最著名的是18世纪的自然科学家罗蒙诺索夫（Lomonosov），他从科学的角度研究玻璃的着色原理，并且亲自制作了几块著名的镶嵌玻璃，如彼得大帝像（图6.40）和波尔马夫斯基（Polmavski）战役（俄国打败瑞典的著名战役）等。16—19世纪镀金和珐琅化的玻璃制品已成为王室与贵族的装饰和收藏品。玻璃制造技术也提高到新的水平，大部分的玻璃制品仿威尼斯玻璃，如图6.41所示的镀金和珐琅化的高脚玻璃杯。文献[26]、[27]系统介绍了该地区早期玻璃的发展。



图6.40 罗蒙诺索夫制作的彼得大帝像（18世纪，俄罗斯圣彼得堡爱尔美达什博物馆藏）



图6.41 镀金和珐琅化的高脚玻璃杯（19世纪，俄罗斯圣彼得堡爱尔美达什博物馆藏）

6.4.4 英国玻璃

罗马时代在英国已有玻璃制造技术，上面提到的英国巴斯宫廷浴池的镶嵌玻璃为证。但作为玻璃器皿的蓬勃发展，还是在17—19世纪。英国在玻璃制造方面特别重视餐具的制作。作为水晶玻璃餐具和灯具，选用了含铅玻璃系统（K_2O-PbO-SiO_2系统）。由于玻璃有高的折射率，因此特别当在灯光照射下时，玻璃闪烁明亮。因为制作餐具和灯具，英国发展了有自己风格的雕刻技术。这些都奠定了后来英国玻璃在国际上的地位。图6.42展示了18世纪时制作的镀金和珐琅化的玻璃高脚杯，茎杆是像棉带扭拧的装饰。图6.43展示的雕花玻璃盆，由两层玻璃组成，一层为乳白色，另一层为杏子色，由于雕花后乳白色玻璃层的厚度不同，底层看起来像蓝色；其雕花的制作十分细致，反映了19世纪雕花玻璃的工艺和艺术的水平。



图6.42　镀金和珐琅化的水晶玻璃高脚杯（18世纪，英国大英博物馆藏）



图6.43　雕花玻璃盆（19世纪，英国大英博物馆藏）

6.4.5　法国玻璃

在17世纪末的法国，已采用浇铸法制作玻璃镜子，以后法国的玻璃镜子工业在欧洲颇有名气，在法国巴黎附近的凡尔赛宫中的玻璃就应用很多大尺寸的玻璃镜子作装饰。18世纪法国的玻璃制造业有很大的崛起。法国的玻璃也是用植物灰作为碱的来源，很像德国制造的玻璃，也称“森林玻璃”，这是钾钙硅酸盐玻璃。含氧化铅的水晶玻璃制造于法国，始于18世纪末叶。

19世纪法国玻璃的风格是威尼斯玻璃的复兴。法国在这一方面很有特色的玻璃制品为压纸玻璃（paperweight glass），也称“千朵花”（Millefiori）玻璃，即把一些细块的颜色玻璃合模于水晶玻璃中。制作压纸玻璃需要优秀的技工去做不同形状和图案的颜色玻璃制品。这种玻璃在公元前3世纪至公元3世纪在罗马帝国所属的埃及的亚历山大城已有制作。后来法国成为制造压纸玻璃的中心，到19世纪末才逐渐在美国兴起，其著名的技师还是从法国去的。图6.44展示了著名的带有火蜥蜴的镇纸玻璃。火蜥蜴是玻璃制造工防止火灾的保护神。

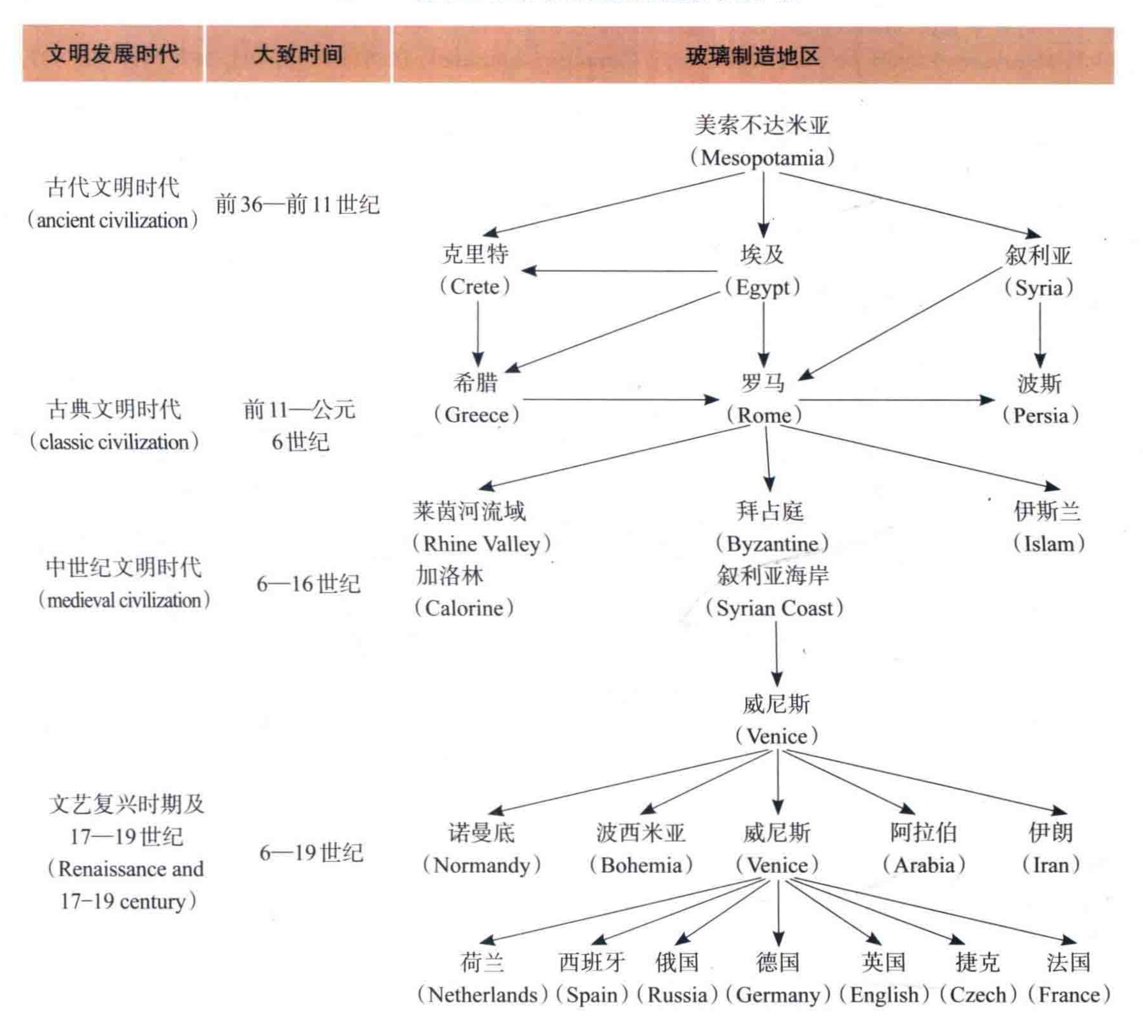


图6.44　带有火蜥蜴的镇纸玻璃（19世纪，美国康宁玻璃博物馆藏）

近年来，干福熹有机会由欧洲玻璃历史研究会派人陪同，参观了意大利威尼斯的阿尔金诺国家考古博物馆及莫兰诺玻璃博物馆，考察了数百件从古罗马到文艺复兴后的古代玻璃。

综上所述，目前论及西方玻璃的发展时，都以美索不达米亚为最早的发源地，埃及次之，以后在地中海地域扩展。表6.4列举了各个文明时代西方玻璃制造技术的扩展。

表6.4 各个文明时代西方玻璃制造技术的扩展



参考文献

[1] Gadd C J, Thompson R C. A Middle-Babylonian Chemical Text, Iraq[M]. Vol III, part 1, Spring, 1936: 88-96.

[2] Oppenheim A Leo, Barag Dan, Axel von Saldern, et al. Glass and glassmaking in ancient Mesopotamia[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1970.

[3] Winckelmann J J. Geschichte der Kunst des Altertums[M].[S. l.]：[s. n.] ,1764: 2.

[4] Benrath H. Die Glasfabrikation[M]. Braunschweig：[s. n.], 1880, s.2.

[5] Neumann B. Antike Glaser II[J]. Zeitschrift fur Angewandte Chem, 1927(40): 363.

[6] Neumann B.Der babylonische-Assyrieche Kunstliche Lasursteirs[J]. Chem.Zeit, 1927(51): 1013-1015.

[7] Turner W E S.Study of ancient glasses and glassmaking process[J]. J.Soc.Glass.Tech, 1954(38): 445; 1956(40): 162.
[8] Turner W E S. Ancient glasses and glassmaking[J]. Proc. Chem. Soc., 1961(93): 4.
[9] Maruyama T.Study on ancient glasses[J]. Ceramics (Japanese), 1968(3): 19, 195, 367, 541, 750, 921; 1969(4): 37, 217, 418, 618, 780, 965, 1054; 1970(5): 44, 218, 776, 986.
[10] Douglas R W, Frank S. A history of glassmaking[M]. G.T.Foulis & Co. Ltd., Oxfordshire, U.K., 1972.
[11] Klein Dan, Lloyd Ward. The history of glass[M].[S. l.]: Orbis Publishing Limited, 1984.
[12] 由水常雄."ガラスと文化"[M].[S. l.]: NHK出版社, 1997.
[13] КАЧАЛОВН. СТЕКЛО[M]. ИзД. АН СССР, МОСКВА, 1959.
[14] Zerwick Chloe. A short history of glass[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1980.
[15] Brill R H. Chemical analysis of early glasses[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1999.
[16] Stavrianos L S. 全球通史：上、下册[M].吴象婴,梁赤民,译.上海：上海社会科学院出版社,1999.
[17] Kaczmarczyk A, Hedges R E M. Ancient Egyptian faience[M].[S. l.]: Warminister, Aris and Philips, 1953.
[18] Nicholson P T. Egyptian faience and glass[M].[S. l.]: Shire Publication LTD., 1993.
[19] Beck H C. Glass before 1500 B.C. [M].[S. l.]: Ancient Egypt and the East, 1934: 7-21.
[20] Henderson J. Ancient glass[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 85-93.
[21] Caley E R. Analysis of ancient glasses[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1962: 83-85.
[22] Goldstein S M. A unique royal head[J]. J. Glass Studies, 1979(21): 9-16.
[23] Goldstein S M, Rakow L S, Rakow J K. Cameo glass[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1982.
[24] Haynes D E L. The Portland vase[M].[S. l.]: British Museum Publications Limited, 1975.
[25] Brill R H. Scientific studies of stained glass — a progress report[J]. J. Glass Studies, 1970(12): 185-192.
[26] Schuler Frederic. Ancient glassmaking techniques[J]. Archaeology, 1959(12): 47-52, 116-122; 1962(15): 32-37.
[27] Shelkovnikov B A. Russian glass in the first half of nineteenth century[J]. J. Glass Studies, 1964(6): 101-122.

第7章　东方古代玻璃技术的发展

干福熹

要讨论中国古代玻璃技术的输入和输出，当然要了解与中国邻近的周边国家和地区的玻璃技术发展情况，其中最主要的国家和地区为南亚的印度，东南亚的越南、泰国和印度尼西亚等，东亚的朝鲜半岛和日本，中亚的伊朗和阿富汗等。本章将叙述这些国家和地区玻璃技术的发展历史。中国的玻璃技术发展因由以下专门的几章来讨论，就不包含在本章叙述的范围以内。本章叙述的历史次序如第6章一样，仍以世界文明发展为阶段，即古代文明、古典文明、中世纪文明和文艺复兴以后，直到19世纪。

西方学者在玻璃的发展历史上对远东（far east）的玻璃技术发展记载不多，认为印度、中国、日本等国的玻璃品（珠、耳珰、首饰等）出现于公元前3—公元前2世纪到3—4世纪，而玻璃制造技术（主要指吹制技术）是在16—17世纪从西方传入的[1-2]。近半个世纪以来，科学考古的研究和出土文物的发掘，使人们对东方的玻璃技术的发展有了较丰富的认识，对亚洲的古代玻璃也有了综合报道[3-5]。

7.1　印度地区的古代玻璃

印度地区指印度次大陆，包括目前的印度、巴基斯坦、孟加拉国和斯里兰卡等。印度河流域的古代文明起源于公元前2500年左右，虽然公元前1500年印度的原始居民为达罗毗荼人、已有城市文明，如哈拉巴（现巴基斯坦境内）的城市废墟和象形文字等被发现，但至今尚未发现这一时期的釉砂、玻砂及玻璃。公元前15—公元前11世纪雅利安人进入印度次大陆后，打败了达罗毗荼人，并将他们赶到南边。古典文明时代先后建立起孔雀王朝、贵霜帝国和笈多帝国。在印度地区已发现的古代玻璃大多出现在这段时间（前400—公元400）。同时，这期间印度地区还经历了波斯帝国和亚历山大帝国的入侵，罗马帝国和印度地区间的商贸也十分发达。由此，西亚大批的玻璃器皿及制造玻璃技术流入印度地区[6-7]。但古代玻璃物品中完整的器皿保存较少，大部分为

碎片和玻璃眼珠，并且收集品较多。

最早的几件玻璃被发现于印度的Ruper地区，生产时间大约在公元前7世纪，为含K_2O和高Al_2O_3的Na_2O–CaO–SiO_2系统玻璃（SiO_2 58%、Na_2O 18%、CaO 5%、K_2O 3.7%、MgO 3.3%、Al_2O_3 8.9%、Fe_2O_3 2.8%）[8]，玻璃成分和早期两河流域的玻璃接近。

已分析的公元前200年至公元200年间的60种玻璃样品中[8, 10]，基本上属于两种类型的硅酸盐玻璃：

一类是以Na_2O为主的钠钙硅酸盐玻璃，出土于Hastinapur、Kopia、Toxila、Arikamedu等地区，从Kopia出土的古代玻璃平均化学成分见表7.1[9]。可以看到，玻璃的主要化学成分接近于美索不达米亚和埃及的古代玻璃成分，但是印度的古代玻璃成分中含Al_2O_3较高，CaO和MgO的含量较低。

表7.1　从Kopia出土玻璃的平均化学成分

%						Al_2O_3/SiO_2	MgO/CaO	Na_2O/K_2O
SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O			
66.8	6.7	3.0	1.5	20	3	0.1	0.5	5~10

另一类是以K_2O为主的钾钙硅酸盐玻璃。时间为公元前2世纪左右，主要出土于Hastinapur、Arikamedu和Udaygiri地区。最早的钾硅酸盐玻璃被发现于公元前6—公元前3世纪。在Hastinapur地区，三个样品中只有一个有化学分析，成分为SiO_2 80%，K_2O 10.7%，CaO 3.9%，Fe_2O_3 2.6%，Na_2O、MgO、Al_2O_3皆小于1%[11]。时间为1世纪或更迟的玻璃被发现于Arikamedu[11]，其化学成分见表7.2[6]，印度的Arikamedu为至今发现的最早的玻璃制造地。这充分说明，在古代南方（海上）丝绸之路中，印度的地理位置是十分重要的，它是从西亚、埃及到东南亚、东亚的中转站。

在Arikamedu和Jalesar地区曾出土几块含PbO的玻璃，年代为公元前2世纪或更迟，成分见表7.3[8]。因为印度的含铅古代玻璃很少，这两块玻璃的成分也不尽相同（2块含K_2O、1块含Na_2O），推测有可能来自中国。印度的古代玻璃中主要靠CuO和MnO着色，很少用CoO。可以看到，整个玻璃制造技术水平并不太高。

中国古代与印度的文化交流，可能起始于释迦牟尼创建的佛教。以后印度和中国佛教高僧有一定往来。当时来往中最易穿戴的为玻璃珠。其路线可能沿自南向北的西南（佛教）丝绸之路或者经塔什库尔干的克什米尔—于阗古道，向北与西北（沙漠）丝绸之路的南道相连接。这可能是近期在中国北方（青海、宁夏、甘肃和陕西）出土中有不少小型玻璃珠的由来。

表7.2　含K_2O的印度古代玻璃的主要成分　（%）

成　分	地　点		成　分	地　点	
	Udaygiri	Arikamedu		Udaygiri	Arikamedu
SiO_2	59.6	73.6	MgO	2.1	0.4
Al_2O_3	3.4	1.9	Na_2O	4.1	2.1
CaO	7.6	3.9	K_2O	19.0	13.4

表7.3　含PbO的印度古代玻璃的主要成分　(%)

成　分	地　点		成　分	地　点	
	Arikamedu	Jalesar		Arikamedu	Jalesar
SiO_2	49.5	39.8	K_2O	12.2	0.6
$Al_2O_3+Fe_2O_3$	1.2	2.5	PbO	30.9	39.0
CaO	0.81	2.8	Cu_2O	0.074	6.0
Na_2O	0.6	10.0			

7.2　日本的古代玻璃

日本早期(史前)的文明分为绳文(Jomon)时代和弥生(Yayoi)时代两个时期。绳文时代(早于公元前3世纪)玻璃尚未被发现。日本早期的古代玻璃大都为玻璃珠(一部分为蜻蜓眼玻璃珠),最早的在弥生时代早期(前3—前2世纪),一部分在弥生时代中期(前1—公元2世纪),至今大概有近千粒玻璃珠已发掘出土。从早期玻璃的化学成分分析结果来看,皆属钠钙硅酸盐玻璃,只是Al_2O_3含量略高一点[9]。最早日本居民持有从南方渡海来的马来人墓葬玻璃,曾推测这是从外传入,有自西亚或印度传来之说[12-13]。

最近耐克(I. Nakai)等用pXRF测定了4—7世纪10座古坟(Tumulus)时代的古代玻璃的131块样品,认为可分为五大类,即钠钙硅酸盐($Na_2O-CaO-SiO_2$)、高铝钠钙硅酸盐($Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$)、钾硅酸盐(K_2O-SiO_2)、高铝钾硅酸盐($K_2O-Al_2O_3-SiO_2$)和铅钡硅酸盐($PbO-BaO-SiO_2$)玻璃,前四类可能从西亚经印度传至东南亚,再到日本。

近期的研究表明[15],从日本福冈县附近的须玖冈本和钣冢市立岩出土的弥生时代玻璃珠和勾珠(逗点状珠)为铅钡硅酸盐玻璃(K_2O+Na_2O含量少于5%),其铅同位素比值皆十分接近中国汉代的玻璃。这些日本出土的古代玻璃及其玻璃制造技术可能是从中国,通过朝鲜半岛经对马海峡或从东海传入日本沿海,以后逐渐向日本内部扩展。日本弥生时代玻璃珠的制造可能是用进口的玻璃半成品(块或棒)进行加工,然后在玻璃珠上彩绘或镶嵌,再进一步烧结。特别是逗点状玻璃珠是具有日本特色的,可能已在日本制造。

表7.4列举了两类日本古代玻璃各5个样品的主要化学成分范围[8,13]。

表7.4　两类日本古代玻璃的化学成分范围　(%)

玻璃类别	SiO_2	Al_2O_3	CaO	BaO	MgO	Na_2O	K_2O	PbO
钠钙硅酸盐	65~67	2~5	6~13	<0.4	0.5~3.5	10~17	1~5	<0.1
铅钡硅酸盐	37~40	0.3~0.6	0.5~3	7~14	0.2~1.0	2.5~5	0.2~0.5	38~43

玻璃珠一直为日本的主要制品,到古坟时代出土的玻璃珠不多,部分为钠钙硅酸盐玻璃,也有些为含铅硅酸盐玻璃。图7.1为古坟时代出土的玻璃珠和勾珠。玻璃器皿如罐、盆等到5世纪后才出现,属于飞鸟(Asuka)和奈良(Nara)时代(6—8世纪)。这时日本从中国获得氧化铅原料(碳酸铅$PbCO_3$或铅丹Pb_3O_4),才可能开始熔制含铅硅酸盐玻璃。那时的制

品受中国盛唐时代的影响较深。最近在日本福冈县发掘出12—14世纪的K_2O-PbO-SiO_2系统的玻璃，其化学成分和铅同位素比值十分接近中国宋代的铅玻璃[15]，虽然自8世纪起，日本已有含PbO的玻璃制造，但其玻璃料和PbO原材料来自中国。经分析，在日本出土的蓝色铅钡硅酸盐玻璃珠的外表面涂层也与中国出土的玻璃上的涂层相似[16]。



图7.1　日本古坟时代出土的玻璃珠和勾珠



图7.2　1993年出土于海港城市Hakata的12—13世纪的玻璃容器（Fukuoka考古中心藏）

井上晓子等近期研究了建于1052年的平等院9—12世纪的玻璃，以及出土于日本海港城市Hakata的12—13世纪的吹制玻璃容器残片（图7.2）。这些古代玻璃的成分大部分属钾铅硅酸盐系统，与中国宁波天一阁出土的玻璃器皿相似，认为是从中国传入。当时已有中国商人在海港城市居住。

中世纪日本与外界交流甚广，很多玻璃制品流入日本，为王室和贵族们所收藏，现多保存于日本的著名博物馆，如东京国立博物馆、奈良国立博物馆等。其中值得提出的是正仓院收藏的玻璃，它们的由来和日本古代玻璃的东、西交流详见文献[17]。至今正仓院所收藏的约万件宝物中有6件玻璃器皿，其制作地和制作年代已经考证，见表7.5。图7.3展示了作为正仓院宝物的棕色表面切花的玻璃碗，这是一只典型波斯造型的玻璃碗，用切割制得表面的凸纹[18]。

表7.5　日本奈良县正仓院宝物玻璃器

品　名	制 作 地	制 作 年 代
白色玻璃碗	波斯	4—5世纪
蓝色玻璃杯	波斯	7世纪中叶
白色玻璃高脚杯	西亚（伊斯兰玻璃）	8世纪
白色玻璃水瓶	西亚（伊斯兰玻璃）	9世纪
蓝色玻璃壶	中亚	10世纪
绿色十二曲纹杯	中国	17—18世纪



图7.3 日本正仓院收藏的棕色表面切花的玻璃碗（8世纪）



图7.4 生产于日本江户时代的薄壁玻璃壶（18世纪）

日本玻璃器皿的生产起源于江户（Edo）时代（17—19世纪），这时欧洲文艺复兴，意大利、西班牙、葡萄牙等国通过传教，将西方的科学文化传入日本。玻璃的吹制技术也输入日本，首先在九州的鹿儿岛及天平等地建立基础，以后在长崎、大阪等地建立知名的玻璃作坊如玉屋、加贺屋、播磨屋等。中国的含铅硅酸盐玻璃制造技术也引入并投产。根据对江户薄壁玻璃杯的化学成分分析，PbO含量高达44.5%，K_2O含量为10.6%，Na_2O含量很少，为典型的K_2O-PbO-SiO_2系统。图7.4为江户时代生产的玻璃壶，是典型的薄壁吹制品。

19世纪经过明治维新时代，欧化的浪潮席卷日本，采用了新技术产业化。在玻璃器皿上进行刻花和印花的技术流行，并出现用颜色玻璃制造船桅灯罩及信号灯。日本参加了1873年的万国博览会，已有玻璃制品展出。留学生归国并聘请英、德技术人员，建立采用西方近代技术的工场，并逐步扩大了玻璃制造的工场的规模，还出版了诸如《硝子制法集说》（马场佐十郎著，1810年）和《玻璃精工全集》（花井一好著，1829年）等有关玻璃制造的技术书籍，从而奠定了日本在现代玻璃制造业中的地位。

7.3 朝鲜半岛的古代玻璃

朝鲜半岛早期（前1—公元3世纪）出土的玻璃大都是玻璃珠，绿色或棕黄色，有些是描绘的彩珠，一般比较重，为铅钡硅酸盐玻璃（PbO 40%~55%，BaO 6%~15%）。再迟一些时期（4—6世纪）的玻璃珠为高铅硅酸盐玻璃（PbO>70%）。这与中国从西汉至东汉时期的含PbO和BaO的玻璃到只含PbO的玻璃成分的变化十分接近，可以认为这些玻璃珠是从中国传入的。

从朝鲜半岛出土玻璃的化学成分的分析结果可以看到[8, 18]，1—6世纪的玻璃珠和碎片的化学成分还有两类：一类为钠钙硅酸盐玻璃系统，不过Al_2O_3含量偏高（3%~10%），有一些CaO含量偏低（1%~5%）、另一些CaO含量又很高（5%~20%）；另一类为钾硅酸盐玻璃系统，其中K_2O含量在10%~17%之间，Na_2O、CaO、Al_2O_3含量都在1%~2%之间。可以认为这

些古代玻璃可能从东亚经海路传入。所以朝鲜半岛的古代玻璃的来源是多方面的。

朝鲜半岛很多玻璃器皿的出土文物皆属于4—7世纪。这一时期朝鲜半岛与国外的交流有两个方面：一方面，通过陆地和海运与中国来往，从中国南北朝开始到唐代，先后有10余次向中国朝贡，也带回中国制造的玻璃制品；同时有商业性来往，如中国浙江省的宁波市与朝鲜半岛西海岸城市开展商贸活动。另一方面，新罗水军力量较强，商船队经中国山东半岛南下至东南亚诸国，曾到过马六甲海峡，由此带回罗马玻璃器皿以及玻璃吹制技术。图7.5、图7.6分别展示了新罗时代的凤首形玻璃瓶和波状纹玻璃杯，出土于庆州皇南洞98号墓，皆为典型的罗马造型[19]。另一件很有名的出土文物，是从庆州松林寺石砖塔出土的舍利瓶（7世纪）[20]（图7.7），玻璃瓶的密度为4.5 g/cm^3，属含铅硅酸盐玻璃，可能从中国传入。根据李英淑的分析[21]，历史上形成了亚洲海上的玻璃珠和小件玻璃器的贸易，钾铅硅酸盐玻璃是主要的材料和工艺制品。

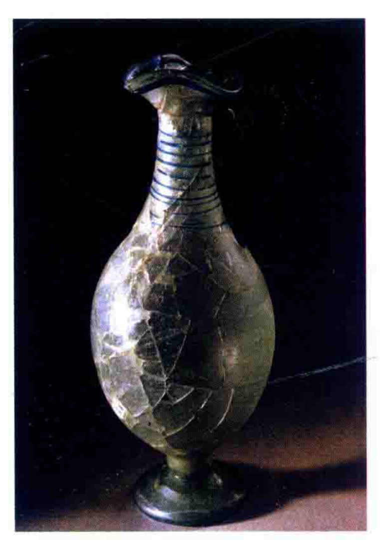


图7.5　凤首形玻璃瓶，出土于庆州皇南洞98号墓



图7.6　波状纹玻璃杯，出土于庆州皇南洞98号墓



图7.7　舍利玻璃瓶，出土于庆州松林寺（7世纪）

7.4　中亚地区的古代玻璃

中亚地区是陆上中西文化和贸易交流必经的地区。这里主要包括阿富汗和苏联的原中亚加盟共和国，如乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦等地。

苏联学者M. A. Besborodor和A. A. Abdurazakov等从20世纪60年代开始，对中亚地区包括塔什干（Tashkent）、撒马尔罕（Samarkand）、布哈拉（Bukhara）等地出土的玻璃，做了大量的分析研究工作，其研究成果见文献[22]、[23]。如表7.6所示[24]，在523种玻璃样品中，有标记的为194种，其中公元前4世纪以前的玻璃样品很少（4种）、公元前4—公元9世纪的玻璃样品也不多（55种），主要是10—14世纪的玻璃（119种）。由此可见，

中亚地区自己生产玻璃的时间可能在8世纪以后。玻璃的化学成分为Na_2O(K_2O)-CaO(MgO)-SiO_2系统。有1/3样品为K_2O(>4.5%)和MgO(2.5%~6%),含量较高;另外1/3样品主要为Na_2O,含量较高(13%~19%);其余玻璃样品中Na_2O/K_2O的比值在6~9,可能取决于碱的来源。表7.7列举了7—11世纪不同时代的玻璃样品,在出土时和风化后的化学成分[25]。

表7.6 中亚出土的不同时代玻璃样品的化学成分

序号	玻璃系统	出土样品时代①					样品数目②
		1	2	3	4	5	
1	$Na_2O-CaO-SiO_2$	1/1	3/6	1/1	2/3	2/4	9/15
2	$Na_2O-CaO-Fe_2O_3-SiO_2$	—	—	—	—	1/3	1/3
3	$Na_2O-CaO-MgO-SiO_2$	1/2	2/3	3/3	7/16	2/2	15/26
4	$Na_2O-CaO-MgO-Mn_2O_3-SiO_2$	—	—	1/1	1/1	—	2/2
5	$Na_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2$	—	2/5	3/4	5/12	3/3	13/24
6	$Na_2O-CaO-Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2$	—	—	1/1	—	1/1	2/2
7	$Na_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2$	—	—	4/4	17/62	1/4	22/70
8	$Na_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2$	—	2/2	—	1/1	—	3/3
9	$Na_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-Mn_2O_3-SiO_2$	—	—	1/1	4/5	1/1	6/7
10	$Na_2O-K_2O-CaO-SiO_2$	1/1	—	—	2/4	1/1	4/6
11	$Na_2O-K_2O-CaO-MgO-SiO_2$	1/2	2/2	3/7	20/48	1/1	27/60
12	$Na_2O-K_2O-CaO-MgO-Fe_2O_3-SiO_2$	—	—	2/2	2/2	—	4/4
13	$Na_2O-K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2$	—	8/17	3/6	13/22	1/4	25/49
14	$Na_2O-K_2O-CaO-Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2$	—	—	—	2/5	—	2/5
15	$Na_2O-K_2O-CaO-Al_2O_3-Mn_2O_3-SiO_2$	—	—	—	2/3	—	2/3
16	$Na_2O-K_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2$	—	2/3	5/7	34/180	1/21	42/211
17	$Na_2O-K_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2$	—	3/6	2/5	3/12	—	8/23
18	$Na_2O-K_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-Mn_2O_3-SiO_2$	—	—	—	2/3	—	2/3
19	$Na_2O-K_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-Fe_2O_3-PbO-SiO_2$	—	2/3	—	—	—	2/3
20	$K_2O-CaO-MgO-SiO_2$	—	—	—	1/2	—	1/2
21	$K_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2$	—	—	—	1/1	1/1	2/2
		4/6	26/47	29/42	119/382	16/46	194/523

注:① 1—青铜时代后期和铁器时代早期;2—古典文明时代(前4—公元6世纪);3—中世纪早期(6—9世纪);4—中世纪中期(10—14世纪);5—14—18世纪。

② 分母为样品总数,分子为有标记的样品数目。

表7.7　7—11世纪玻璃风化前后的化学分析　（%）

氧化物	样品1		样品2		样品3		样品4		样品5	
	未破坏	风化后	未破坏	风化后	未破坏	风化后	未破坏	风化后	未破坏	风化后
SiO_2	63.01	51.35	64.75	83.80	61.22	76.99	62.34	75.05	60.97	82.83
Al_2O_3	3.85	23.70	2.47	1.97	3.74	10.66	2.34	8.36	1.45	4.74
Fe_2O_3	1.01	2.21	1.10	2.39	2.52	—	1.25	—	1.68	2.64
CaO	5.98	7.47	6.50	2.26	6.94	3.98	8.65	2.00	5.21	1.81
MgO	4.73	2.35	5.95	2.56	4.95	1.69	3.30	1.43	4.96	0.97
Na_2O	18.09	10.38	15.44	6.00	14.74	1.17	13.79	1.65	15.26	1.47
K_2O	2.74	2.27	3.20	0.89	2.91	2.27	2.90	5.51	4.85	3.91
SO_3	0.14	0.36	0.20	0.09	2.46	3.20	3.86	5.90	4.65	1.58
TiO_2	0.18	0.10	—	—	0.01		0.01		微量	
Mn_2O_3	0.29 （1.94）	0.08 （1.21）	0.26 —	0.19 —	0.47 （0.39）	— （15.76）	1.51 （0.15）	0.05 （16.76）	0.92 （0.31）	0.01 （14.68）

注：样品1—无色玻璃盒底部，7世纪，产于Kuva；样品2—绿色玻璃器底部，7—8世纪，产于Pendjikent；样品3—绿色玻璃碎片，10—11世纪，产于Afrasiab；样品4—无色玻璃碎片，10—11世纪，产于Afrasiab；样品5—绿色玻璃器底部，10—11世纪，产于Afrasiab。

根据R. H. Brill收集的阿富汗出土的3—4世纪至7—11世纪的玻璃碎片的化学成分来看[26-27]，皆属Na_2O-CaO-SiO_2系统，其中K_2O和MgO的含量较高，估计碱部分来源于植物灰。SiO_2的含量在60%~65%，Na_2O在15%~20%，CaO在5%~10%；其中Na_2O/K_2O的比值在3~6、CaO/MgO的比值在0~2。玻璃的化学成分接近美索不达米亚和叙利亚的古代玻璃成分。

图7.8展示了阿富汗出土的一批吹制的玻璃器皿，十分精美，大概是7—11世纪的制品。可见玻璃的吹制技术已从地中海传至中亚，有可能是通过商贸往来而传入的。



图7.8　阿富汗出土的一批吹制的玻璃器皿（法国卢浮宫博物馆藏）

7.5 东南亚地区的古代玻璃

东南亚地区主要包括越南、泰国、印度尼西亚和菲律宾等国。古典文化时期，东南亚大陆的泰国、越南与中国和印度有较多来往，历史记载也较清楚。但是，古代文化时期东南亚的文化起源问题有较大争议，与玻璃技术发展有关的青铜器的出土问题就是一个例子。20世纪70年代中期，在泰国东北部的满庆村出土了约3 600年前（约公元前1600年）的青铜矛头，比最早使用青铜的中国和美索不达米亚地区还早。关键的问题是确定其年代。根据对同时出土遗骨的鉴定，认为应该是公元前750—公元前50年，这与最初的推论就相差很多。有一些报道认为，东南亚地区最早的古代玻璃的出土年代可以推至公元前千年，但至今很难说明准确的年代[4-5]，大部分出土的玻璃都是在12世纪后、16—17世纪。

7.5.1 越南

阮长奇（Nguyen Truong Ky）在他的专著《越南的古代玻璃》中，对20世纪70—80年代发掘出土的越南古代玻璃做了很好的介绍。认为从公元前4—公元前3世纪至2—3世纪为越南玻璃技术的初始阶段，出土的大部分为玻璃珠（Hat Chouj）；从33处出土的7 749个玻璃样品中，珠子有7 694个，其他为耳珰、耳环等，和中国一样作装饰和墓葬品。它们分别属于东山文化（Dong Son，前5—公元3世纪），在越南的北部；沙萤文化（Sa Huynh，前5—公元3世纪），在越南海岸地区；同奈文化（Dong Nai，前5—前3世纪），在湄公河下游三角洲地区。《越南古代史》一书也提到[28]，在东山文化时期的遗物中出土过彩色的玻璃珠和淡青色的耳坠等，属于公元前4世纪。图7.9展示了目前藏于越南历史博物馆的长耳、兽头玻璃耳珰，出土于越南胡志明市，属于公元前4—公元前1世纪的沙萤文化时期，是最早的越南古代玻璃样品。

根据R. H. Brill的分析结果[4, 8]，沙萤文化早期（公元前4世纪）出土的为非玻璃体（属釉砂或玻砂），其主要化学成分为SiO_2>30%，MgO 10%~30%，CaO 3%~10%。后期也有钠钙硅酸盐玻璃，18个玻璃样品的化学成分的范围为SiO_2 65%~72%、Na_2O 15%~20%、CaO 2%~3%、MgO 0.5%~2%、K_2O 2%~3%，由Cu、Fe着色，比较接近西亚的古代玻璃成分，可能



图7.9 长耳、兽头玻璃耳珰，出土于越南胡志明市

从印度流入。

越南地质总局的化验所对越南鼎村出土的古代玻璃的化学成分进行了光谱分析，结果见表7.8，这是典型的钾硅酸盐玻璃[28]。年代为距今（1990 ± 85）年，相当于中国西汉与东汉相交之际，当时在越南属第一次北属（前111—公元43）[29]。越南第二次与第三次北属时间分别为43—544年、603—939年。

表7.8 越南鼎村出土的古代玻璃化学成分 (%)

玻璃器类别	颜色	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	着色剂
手镯（412-11）	蓝色	主要	1.3	0.22	18	2.8	0.5	0.75	MnO 0.5 CuO 1.3 Ag_2O 0.002
	天蓝色	主要	0.9	0.22	22	7	0.75	1.3	MnO 0.11 CuO 0.005 CrO 0.025
	碧绿色	主要	0.6	0.22	20	4	0.8	0.2	MnO 0.021 CuO 0.002 CrO 0.006

16—18世纪越南已经掌握玻璃的吹制技术，出土的玻璃有三类不同的化学成分。22个玻璃样品中，3个为铅硅酸盐玻璃（SiO_2 55%~56%、Na_2O 2%~2.5%、CaO 3.6%~3.8%、K_2O 7.3%~9.6%、PbO 27%~29%）；5个为钾硅酸盐玻璃（SiO_2 66%~80%、Na_2O 2%~10%、CaO 0.5%~3%、K_2O 16%~20%、MgO 0.3%~1.6%）；14个为钾钠硅酸盐玻璃（SiO_2 55%~60%、Na_2O 2%~10%、CaO 10%~15%、MgO 3%~4%、K_2O 6%~15%、Na/K 0.5~1、Ca/Mg 3~4）。

所以，可以看到越南古代玻璃的来源为多方面的。至于早期玻璃是传入技术后本地制造还是引进成品，尚待进一步考证。

7.5.2 泰国

最早的泰国古代玻璃出现于公元前4世纪，全为玻璃珠。14个玻璃样品中，8个有化学分析的结果[4,8]。玻璃化学成分范围为：SiO_2 75%~80%、Na_2O 1%~3%、K_2O 12%~15%、CaO 3%~6%、MgO <1%、Al_2O_3 1%~2%。所以，基本上是钾钙硅酸盐玻璃。

公元前1—公元2世纪出土的4个玻璃样品也全为玻璃珠，化学成分是以Na_2O为主的硅酸盐玻璃，化学成分为：SiO_2 65%~70%、Na_2O 11%~19%、CaO 2%~6%、K_2O 3%~5%、PbO 0.2%~5%、Al_2O_3 2%~8%。有几颗钾硅酸盐玻璃样品，可能为公元前1世纪出土的，其化学成分为：SiO_2 76%~79%、K_2O 17%~18%、Na_2O <1%、CaO <1%、MgO <1%、Al_2O_3 2%~4%、CuO 1%~3.7%，其化学成分与越南鼎村出土的古代玻璃十分相似，可能是同一来源。

7.5.3 印度尼西亚

印度尼西亚玻璃样品的来源较广，如来自苏门答腊（Sumatra）、加里曼丹（Kalimantan）等。有关玻璃成分分析数据有很多，但都是9世纪以后的。玻璃主要为钠钙硅酸盐玻

璃（SiO_2 60%~70%、Na_2O 12%~20%、CaO 3%~10%、K_2O 2%~4%、MgO 3%~7%、Al_2O_3 2%~5%），也有铅硅酸盐玻璃（SiO_2 40%~45%、PbO 37%~53%、K_2O+Na_2O 5%~15%）[29]。这些玻璃器皿可能大多为在海运过程中转时留下的。

参考文献

[1] Turner W E S. Study of ancient glasses and glassmaking process[J]. J. Soc. Glass Tech., 1954(38): 445; 1956(40): 162.

[2] Klein Dan, Frank Susan. A history of glassmaking[M]. Oxfordshire: G.T.Foulis & Co. Ltd., 1972.

[3] Brill R H. Scientific investigation of ancient Asian glass[C]//Nara Symposium International Congress'91 UNESCO Maritime Route of Silk Roads,1991: 70-79.

[4] Brill R H. Scientific research in early Asian glass[C]//Proceedings of 17th on Glass, 1995(1): 270-279.

[5] Brill R H, Fang D M, Lange D E. Chemical analysis of some Asian glass[C]//Proceedings of 17th International Congress on Glass, 1995(1): 463-468.

[6] Rowlinson H G. Intercourse between India and the west world[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1916.

[7] Warmington E W. The commerce between the Roman Empire and India[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1928.

[8] Brill R H. Chemical analysis of early glasses[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1999.

[9] Caley E R. Analysis of ancient glasses[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1962: 83.

[10] Brill R H. Chemical analysis of some early India glasses[C]//Proceedings of Archaeology, Session of 14th International Congress on Glass, New Delhi, Calcutta, India Cer. Soc., 1987(1): 1-25.

[11] Lal B B. Examination of some ancient Indian glass specimens[J]. Ancient India, 1952(8): 17-27.

[12] Blair D L. A history of glass in Japan[C]. Kodansha International, Ltd., and the Corning Museum of Glass, 1973.

[13] Yamasaki K. A brief history of glassmaking in Japan[C]//Glass and Religion Man ed. by Anita Engle, Reading in Glass History, 1982(13/14): 95-103.

[14] 山崎一雄，室住飞世. 中国古代玻璃与日本弥生时代古墓中出土的玻璃之间的关系[C]// 干福熹. 中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集. 北京：中国建筑工业出版社，1986：47-52.

[15] Kolzuka Takayasu, Yamasaki Kazuo. Investigation of some K_2O-PbO-SiO_2 glasses excavated in Japan[C]// Proceedings of 18th International Congress on Glass, Sec. Glass Archeology. San Francisco: The America Ceramic Society, 1998.

[16] Kolzuka Takayasu, Yamasaki Kazuo. Detection of Han blue pigment in blue lead-barium glass beads excavated in Japan[C]//Proceedings of 19th International Congress on Glass, Vol2. Extended abstracts, Edinburgh, Scotland, 2001: 2.

[17] 由水常雄. ガラスの文化[M]. 东京：[s. n.]，1997.

[18] Lee InSook. Chemical analyses of some ancient glasses from Korea[C]//Annales du 12e Congres, de 1'Association International Pour 1'Histoire du Verre, Vienne-Wien, 1991(26-31): 163-176.

[19] 东京国立博物馆. 东洋古代ガラス[M]. 东京：东京国立博物馆，1980.

[20] 由水常雄，棚桥淳二. 东洋のガラス[M]. 东京：株式会社三彩社，1977.

[21] 李英淑. 亚洲海上的玻璃和珠子贸易[M]// 干福熹. 丝绸之路上的古代玻璃研究. 上海：复旦大学出版社，2007：48-57.

[22] Щапова. Ю А. Очеркц Историй Древней Стекол Делия[M]. Издательство Московского Университета, 1983.

[23] Абдуразаков А А, Безбородов М А, Заднепровскии Ю А.Стеклоделие Среяней Азии в Древности и Средневеков[M]. Ташкент.Изд-во АН УЗССР, 1963.

[24] Abdurazakov A. The origin and the main stages of development of glassmaking in Central Asia[C]// Proceedings of 15th International Congress on Glass, Leringrad. Section: Archaeometry, 1989: 26- 31.

[25] Abduvazakov A. Weathering and chemical durability of medieval glass of Central Asia[J]//Proceedings of 18th International Congress on Glass, San Francisco. Section: Archaeometry, The America Ceramic Society, 1998.

[26] Brill R H. Report on chemical analysis of some glasses from Afghanistan[J]. Transaction of the American Philosophical Society, 1972, 62(4): 51-53.

[27] Brill R H. Thoughts on the glass of Central Asia with analyses of some glasses from Afghanistan[J]// Proceedings of XVth International Congress on Glass, Leningrad, Section: Archaeology, 1989: 19-24.

[28] 陶维英.越南古代史：下册[M].刘统文,等译.北京：商务印书馆,1976: 317.

[29] Mc Kinnon E E, Brill R H. Chemical analysis of some glasses from Sumatra[C]//Proceedings of 14th International Congress on Glass, New Dehli, Section 2, Archeometry Session, 1986: 1-14.

第8章　中国古代玻璃的史料

黄振发

如前所述，玻璃作为最古老的人造材料之一，是人类在创造文明社会过程中，伴随着生产和生活的不断进步而发现和创造的。最早的玻璃约在公元前20世纪前出现在两河流域，即美索不达米亚地区，中国出现玻璃晚于西方1 000多年。本章主要从历史文献等史料方面进行研究，分析中国古代玻璃的有关记载，并就玻璃的名称、中西交往、玻璃技术的产生及成分、配方等方面作一探讨。

8.1　中国古代玻璃的名称

干福熹曾提到，有关中国古代玻璃的描述在很早的史料中已有记载。最早出现的名词，有“璆琳琅玕”“琉琳”“流离”“玻璃”等，以后使用“琉璃”这一名词较为普遍[1]。

张维用在《“琉璃”名字考》[2]一文中称，中国古代，一般都把玻璃称作“琉璃”。在唐代以前，“琉璃”都写作“流离”，或作“壁流离”。

张福康等[3]认为“琉璃”这个古代名词所代表的概念历来含糊不清，为此，对这个名词下了个初步的定义：“琉璃”是古代用来称呼那些用硅酸盐材料配制，并用和传统陶瓷工艺完全不同的方法制成的人造饰物的专门名称。它主要包括：① 含少量玻璃相的多晶石英制品，如圆珠、管珠等；② 带有陶胎或没有陶胎的蜻蜓眼；③ 透明或半透明的早期玻璃制品，如璧、剑饰、耳珰等。“琉璃”这个名词的含义比“玻璃”更为广泛，因此，前者可以概括后者，但后者不能概括前者。

以上所述，提出了对玻璃名称的研究问题。从古籍史料中，我们还看到的名称有“陆离”“陆琳”“颇黎”“颇璨”等。战国以后，仿玉镶嵌玻璃大量出现，其名称大多与“玉”字相关，如五色玉、水玉、药玉、瓘玉、罐子玉、假玉等；此外，还有水精、假水晶、硝子及料器等名称。

如此繁多的名称，反映了中国古代玻璃的特殊性，因此，中国古代玻璃的

名称是一个有趣而又十分复杂的问题。正因为史料中对玻璃还有众多“异物同名”或“同物异名”的存在，所以，对于真正被称为“玻璃”的器物，就需要正确分析史料的记载和对其的描述，准确判定其实际名称。

以下将按历史已有史料，主要对先秦、汉通西域后和5世纪南北朝，西方吹制技术传入及以后的史料进行分析。

8.1.1 璆琳琅玕——先秦时期天然玉石和人造玻璃的统称

在中国古籍中，已知用来称呼玻璃的名称，最早是在西汉晚期，即通西域后才出现的，有西汉的《史记·大宛列传》《盐铁论》；东汉的《汉书·地理志》《汉书·西域传》《论衡·率性篇》等，当然，汉以后的史料更多了。对此，我们应该探讨的是，中国先秦尤其是在战国时期，自制的玻璃流传广泛，制作精美，并成为商品，这时期对其称呼应该是什么？

有关“璆（球）、琳、琅玕”的记载最早出于《尚书·禹贡》[4]。例如，其中有下面两段记载：

其一为：“华阳、黑水惟梁州。……厥贡璆、铁、银、镂、砮磬、熊、罴、狐、狸、织皮。”

其二为：“黑水、西河惟雍州。……厥贡惟球、琳、琅玕。”

这两段分别记述了“华山南面、黑水之间的区域属梁州”和“黑水、西河间的区域属雍州”，及其山川、物产、贡赋等。“厥贡璆”和“厥贡惟球、琳、琅玕”均指它的向上贡品有“璆琳、琅玕”等，这是我们要重点研究的。

《尚书》相传由孔子编选而成，在先秦典籍中称《书》，言其为“上古之书也”，汉代始称《尚书》。书中记录了虞、夏、商、周年代的史事，是“中国上古历史文件和部分追述古代事迹著作的汇编”[5]，也是中国最早的政事史料。其中“禹贡”篇为战国时魏人编撰，该篇记录了夏代“九州的划分，山川的方位走向，风土物产，贡赋交通”等，是中国古代最早的有价值的地理学著作。“禹”，为夏代开国君主，夏代在中国历史上，约从公元前21世纪到公元前17世纪；“贡”，为由下而上贡输的方物之称。这里所记载的“梁州”和“雍州”的贡物中均有“璆琳琅玕”。

此外，先秦成书的还有：

《管子·轻重甲》[6]，其中记载有“昆仑之虚不朝，请以璆琳、琅玕为币乎？”及“簪珥而辟千金者，璆琳、琅玕也”。

《穆天子传》[7]，书中叙述了“天子使柏夭受之好献技斯之石四十，……珌佩百支，琅玕四十”及“丁酉天子登采石之山，于是取采石焉……使民铸以为器”的故事。

以上是先秦史籍中见到的少有的记载，这些史实又被后人所传承，主要有《史记·夏本纪第二》[8]和《汉书·地理志第八上》[9]中对《尚书·禹贡》中所记述的“璆琳琅玕”的两段完整文字做了原原本本的转述。《史记》是西汉司马迁于公元前104—公元前91年撰写成的中国第一部纪传体通史。如此一脉相承，可见其史实的可信度。不过，至于“璆琳琅玕”是否专指“玻璃”这种人造材料，还需要认真分析。

据东汉经学家、文字学家许慎所著《说文解字》[10]中记载，“琳”美玉也，“琅玕”似珠者。“璆琳琅玕”主要指的是玉石和宝珠之类的饰物。但是，并没有说清楚是天然的，

还是人工制造的，所以也不能一概而论。正如同处于东汉的唯物主义哲学家王充在其著作《论衡·率性篇》[11]中，雄辩地论述了“天道有真伪”的思想，然而，他的实证却道出了“璆琳琅玕”有天然的和人工制造的两种：“何以验之？《禹贡》曰‘璆琳琅玕’者，此则土地所生，真玉珠也。然而道人消烁五石，作五色之玉，比之真玉，光不殊别”。按当时王充所例证的“璆琳琅玕”，已经不仅指的是天然玉珠（“此则土地所生”），同时，对人工制造的“伪”玉珠（更确切地说，应该为仿玉珠材料——“五色之玉”），也一样被称为“璆琳琅玕”。因此，可以认为“璆琳琅玕”是古代对“真玉似玉”的统称，根本不分真玉石或仿玉石。可以这样讲：“璆琳”示其质，“琅玕”表其形，所以，“璆琳琅玕”就是“玉”的珠或“玻璃”的珠。

杨伯达在《西周玻璃的初步研究》[12]一文中提到，西周出土的“一批串珠项链”多达千余件。玻璃制成的管、珠、片，及玛瑙、玉、石等非金属矿物制品，在西周时期叫作什么？也应该称之为“璆琳琅玕”。所以，古代对“璆琳琅玕”的称谓，应该看作对玉石或仿玉材料饰品之类的统称。

正是出于这样的认识，所以，对于屈原在《楚辞》[13]的《离骚》中的“高余冠之岌岌兮，长余佩之陆离”，《九歌·大司命》中的“灵衣兮被被，玉佩兮陆离”和《九章·涉江》中的“带长铗之陆离兮，冠切云之崔嵬”，就不难理解了。这里所提的“陆离”不论从内容和形式上，都应指的是一种色彩光亮的剑上饰物，也可能是天然的“玉石”，或人造的“五色玻璃”。因为在中国春秋末和战国时期，已出现相当多的人造玻璃制品，尤其镶嵌在其他材料上的玻璃制品，在出土的战国墓葬品中都有很多的实例，“剑饰”就是其一。

高至喜在《湖南出土战国玻璃璧和剑饰的研究》[14]中，提到“湖南各地战国楚墓中发掘出土的玻璃璧已有120余件，……玻璃剑首8件，……玻璃剑珥6件，……玻璃剑珌1件出于益阳”。

更具典型的是“越王剑上的玻璃剑饰”[15]。“1965年冬在湖北省江陵县望山一号楚墓出土”的越王勾践的“剑”，“其剑格两面的凹槽中，分别镶嵌着多块绿松石和玻璃。出土时绿松石完好无缺，而玻璃仅剩下两块，……这两块玻璃都是浅蓝色、半透明，形状不同，一块呈球冠形，另一块呈烟斗形”。另外，在河南省辉县琉璃阁发现的吴王夫差剑，在剑格的一面嵌了块小玻璃，呈圆形，无色透明，稍泛绿色，透明度较好。

从许多出土的实物看，当时玻璃的镶嵌技术和应用已发展到相当的水平，不仅有镶嵌“剑饰”“珠饰”，还有嵌在铜镜上的饰品等。但古人对其称谓并没有严格的区分，从先秦时期有限的史料看，凡对色彩斑斓、光泽晶莹的玉石串珠等饰物，均可称之为“璆琳琅玕”或“流光陆离”（简称“陆离”）。

实际上，对《楚辞》中的“陆离”，就其诗句而言，屈原本人也不可能直呼其“玻璃（陆离）”，因为在诗句中表现了屈原高大的形象和所佩“长铗”的光彩夺目，这样才符合其本意，起到比喻作者品格高尚、行为庄肃、道德纯美和追求理想的浪漫主义的作用。同样地，在《楚辞》的“九叹”中，刘向也吟出“薜荔饰而陆离兮，鱼鳞衣而白蜺裳”；《汉书·扬雄传》中，出现“方椎夜光之流离，剖明月之珠胎”；明代李时珍对琉璃一词做出解释：“《汉书》作流离，言其流光陆离也。火齐，与火珠同名。”

正因为先秦时期，人工制造玻璃器刚刚兴起，不论在生产制造技术和应用方面都未形成规模，这种人造材料的制得也十分不容易，所以它与玉石的珍贵程度差不多，仅在达官贵人中作为饰物，其名称也与天然玉石相近，这就是玻璃经历了一段很长的仿玉时期、与“玉”字分不开的原因。

8.1.2 琉璃——两汉及以前，西方传入与中国自制玻璃的称呼

下面来研究汉以后的有关史料。有人提出，“琉璃”一词最早见于西汉桓宽的《盐铁论》[16]卷一“力耕第二”：“夫中国一端之缦，得匈奴累金之物，而损敌国之用。是以骡驴骆驼，衔尾入塞，驒騱騵马，尽为我畜，鼲貂狐貉，采旃文罽，充于内府，而璧玉珊瑚瑠璃，咸为国之宝。”这里出现了有关“璧玉、珊瑚、瑠璃”的提法，其中“瑠璃”似乎已经与天然的“璧玉”分开而述了，瑠璃（即“琉璃”）就是人工制造的玻璃。

现在再分析一下这段历史。《盐铁论》实际上是记述西汉历史上有名的“盐铁会议”，即公元前81年一次经济政策方面的大辩论。当时政府召集各地推举的贤良、文学60多人到京城参加会议。贤良、文学等反对“盐铁官营、均输、平准”，对政府的政策进行了全面的批评，并和御史大夫桑弘羊等反复辩论。当时距公元前138年张骞第一次出使西域已有57年，距公元前119年张骞第二次出使西域也有38年，因此，这时的汉王朝与西域各国的交往有了相当的发展。桑弘羊回答贤良、文学等人时，坚持对外开放、充分利用内外两种资源的原则，即“是则外国之内流，而利不外泄也。异物内流则国用饶，利不外泄则民用给矣”，才达到了诗曰的“百室盈止，妇子宁止”。

由上述可知，在汉武帝时代，当政者积极开拓中西交通，加强经济、文化交流是有重大意义的。这个时候，由西域交流进来的“璧玉、珊瑚、瑠璃”，都是国家的宝物。从西域传入的玻璃，均被称为琉璃，作为贸易品进入汉王朝，这就是当时的实际。东汉班固所著《汉书》和南朝宋史学家范晔所著《后汉书》[17]均可为证。在《汉书·西域传第六十六上》（图8.1）中记载：“罽宾地平，温和，有目宿，杂草奇木，檀、櫰、梓、竹、漆。……出封牛、水牛、象、大狗、沐猴、孔雀，珠玑、珊瑚、虎魄、璧流离。”这里已提到了“璧流离”。“罽宾”，古西域国，汉代时在今喀布尔河下游克什米尔一带，建都循鲜城，为今克什米尔地区斯利那加附近。汉武帝时开始建立朝贡关系，遣使奉献。

在《后汉书·西域传第七十八》（图8.2）中记载到，大秦国“土多金银奇宝，有夜光璧、明月珠、骇鸡犀、珊瑚、虎魄、琉璃、琅玕、朱丹、青碧。”这里提到的“琉璃”与上文的“璧流离”应为同物，都可看成由西方传入的玻璃，称之为“琉璃”。

当我们研究了记载有西方传入玻璃的古籍史料时，不能忽视这个时期有没有记述中国自有玻璃的史料。《后汉书·南蛮西南夷列传第七十六》中写道：“哀牢人……出铜、铁、铅、锡、金、银、光珠、虎魄、水精、瑠璃、轲虫、蚌珠、孔雀、翡翠、犀、象、猩猩、貊兽。云南县有神鹿两头，能食毒草。”此外，东晋常璩所著《华阳国志·南中志》[18]记载，“明帝永平十二年，哀牢抑狼遣子奉献。明帝乃置郡，……土地沃腴，有黄金、光珠、琥珀、翡翠、孔雀、犀象、蚕桑、棉绢、采帛文绣，……又有……水精、瑠璃、轲虫、蚌珠”。这里所记述的是东汉明帝刘庄于69年接受哀牢人的贡物。哀牢是一个古郡国，位于今云南省保山怒江以西，51年与东汉

漢書

〔一〕師古曰：「君讀爲之君也。塞音先得反。」
〔二〕師古曰：「即所謂釋杖者也，亦猶有輕重耳。」

罽賓地平，溫和，有目宿，雜草奇木，檀、櫰、梓、竹、漆。〔一〕種五穀、蒲陶諸果，糞治園田。地下溼，生稻，冬食生菜。其民巧，雕文刻鏤，治宮室，織罽，刺文繡，好治食。有金銀銅錫，以爲器。市列。〔二〕以金銀爲錢，文爲騎馬，幕爲人面。〔三〕出封牛、水牛、象、大狗、沐猴、孔爵、〔四〕珠璣、珊瑚、虎魄、璧流離。〔五〕它畜與諸國同。

〔一〕師古曰：「櫰音懷。即槐之類也，葉大而黑也。」
〔二〕師古曰：「市有列肆，亦如中國也。」
〔三〕張晏曰：「錢文面作騎馬形，漫面作人面目也。」如淳曰：「幕音漫。」師古曰：「幕即漫耳，無勞借音。今所呼幕皮者，亦謂其平而無文也。」
〔四〕師古曰：「封牛，項上隆起者也。郭義恭廣志云罽賓大狗大如驢，赤色，數里搖鈴以呼之。沐猴即獼猴也。」
〔五〕孟康曰：「流離青色如玉。」師古曰：「魏略云大秦國出赤、白、黑、黃、青、綠、縹、紺、紅、紫十種流離。孟言青色，不博通也。此蓋自然之物，采澤光潤，踰於衆玉，其色不恒。今俗所用，皆銷(冶)〔冶〕石汁，加以衆藥，灌而爲之，尤虛脆不貞，實非真物。」

自武帝始通罽賓，自以絕遠，漢兵不能至，其王烏頭勞數剽殺漢使。〔一〕烏頭勞死，子代立，遣使奉獻。漢使關都尉文忠送其使。王復欲害忠，忠覺之，乃與容屈王子陰末赴共合

西域傳第六十六上　三八八五

图8.1 《汉书·西域传第六十六上》

後漢書

大秦國一名犂鞬，以在海西，亦云海西國。地方數千里，有四百餘城。小國役屬者數十。以石爲城郭。列置郵亭，皆堊塈之。〔一〕有松柏諸木百草。人俗力田作，多種樹蠶桑。皆髡頭而衣文繡，乘輜軿白蓋小車，出入擊鼓，建旌旗幡幟。

〔一〕塈，飾也，音火既反。郭璞曰：「堊，白土也，音惡。」

所居城邑，周圜百餘里。城中有五宮，相去各十里。宮室皆以水精爲柱，食器亦然。其王日游一宮，聽事五日而後徧。常使一人持囊隨王車，人有言事者，即以書投囊中，王至宮發省，理其枉直。各有官曹文書。置三十六將，皆會議國事。其王無有常人，皆簡立賢者。國中災異及風雨不時，輒廢而更立，受放者甘黜不怨。其人民皆長大平正，有類中國，故謂之大秦。

土多金銀奇寶，有夜光璧、明月珠、駭雞犀、〔一〕珊瑚、虎魄、琉璃、琅玕、朱丹、青碧。刺金縷繡，織成金縷罽、雜色綾。作黃金塗、火浣布。又有細布，或言水羊毳，野蠶繭所作也。合會諸香，煎其汁以爲蘇合。凡外國諸珍異皆出焉。

〔一〕抱朴子曰：「通天犀有一白理如綖者，以盛米，置羣雞中，雞欲往啄米，至輒驚卻，故南人名爲『駭雞』。」

以金銀爲錢，銀錢十當金錢一。與安息、天竺交市於海中，利有十倍。其人質直，市無二價。穀食常賤，國用富饒。鄰國使到其界首者，乘驛詣王都，至則給以金錢。其王常欲

西域傳第七十八　二九一九

图8.2 《后汉书·西域传第七十八》

交往,受汉封号,建立了朝贡关系。从西汉政区形势图[19]来看,哀牢已属西汉"政权部族界"区内,"云南郡蜀建兴三年置属县",所以有地名称之为"云南县"。西汉时期行政设置为州、郡、县,全国"司隶十三州",今四川、云南一带属于"益州"。李晓岑在《关于中国铅钡玻璃的发源地问题》[20]一文中提出,"考古样品的铅同位素比值显示,汉代以前的中国传统铅钡玻璃中含有 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 比值很低的异常铅,该文通过分析这些异常铅的同位素分布场,推断早期铅钡玻璃的原料来自云南"。他还从历史记载、考古发现、地质条件等方面分析,认为"滇东北还是中国铅钡玻璃的重要发源地之一"。可以看出,在当时许多史学家、著者著书立说时,并没有把西方传入的玻璃和中国自制的玻璃分开来称呼,所以,这个时期史料上反映出来的玻璃名称,基本上都称之为"琉璃"(同音为"瑠璃")。

8.1.3 玻璃的多种名称——"玻璃""琉璃"及其他

令众多古代玻璃研究者感到困惑的是,玻璃在中国出现和使用已有2500年的历史,但是,长期以来都不是用"玻璃"的名称给予称呼。由于宋代以后,以低温彩釉陶制作的砖瓦称为"琉璃",在宋李诫的《营造法式》中称"釉陶瓦"为"琉璃瓦"[21],可见"琉璃瓦"与"琉璃"已不是一物了,所以在宋以后玻璃器物的"琉璃"一词开始有被"玻璃"逐步取代的趋势,但真正确定其名副其实的"玻璃"名称是在清代,还不足800年历史。由于清康熙帝喜爱西方传入的玻璃制品,于康熙三十五年(1696年),下诏建立养心殿造办处玻璃厂,集中了山东博山、广东广州的制作玻璃的能工巧匠。为了避免与烧制低温彩陶琉璃砖瓦的"琉璃厂"混淆,故新建的厂定名为"玻璃厂",从此生产的产品也都被称为"玻璃"。因为官方使用了"玻璃"的名称,所以逐渐推广到了民间。如清代文人王士祯在他的《香祖笔记》[22]中有关于鼻烟壶的记述:"近日京师有以淡巴菰作为鼻烟者,以玻璃瓶贮之。壶形种种不一,颜色亦具有五色,白如水晶,红如火齐,极可爱。玩以象齿为题,就鼻嗅之。但皆内府制造,外间亦或仿之,终不及。"

据有关史料记载,大约在南宋时,最早称西方进口的玻璃器为"玻璃",而中国自制的玻璃制品名称多种多样,直到清代还在沿用"琉璃"这一名称。

《武林旧事》[23]是周密于元灭南宋之后,回忆旧事而著的,书中已将"琉璃"和"玻璃"的称呼分别示为"国产"的和"进口"的。如卷二"元夕":"禁中自去岁九月赏菊灯,……鳌山灯之品极多,每以'苏灯'为最,圈片大者径三四尺,皆五色琉璃所成。山水人物,花竹翎毛,种种奇妙,……福州所进,则纯用白玉,晃耀夺目,如清水玉壶,爽彻心目。近岁新安所进益奇,虽圈骨悉皆琉璃所为,号'无骨灯'。禁中尝令作琉璃灯山,其高五丈,……连五色琉璃阁,皆毬文戏龙百花。……有幽坊静巷好事人家,多设五色琉璃泡灯,更自雅洁。"可见国产的玻璃在灯饰上已应用较广,但还是使用"琉璃"的称呼。再如该书卷二"赏花":"禁中赏花非一先期后苑及修内司分任排办,……堂前列,……台后列……堂内左右各列三层,雕花彩槛,护以彩色牡丹画衣,间列碾玉水晶金壶及大食玻璃官窑瓶,各簪奇品。"这里对"玻璃"瓶用以"大食"冠之,说明玻璃瓶是由"大食"(即阿拉伯)进口的。该书还提到清河郡王张俊进奉给宋高宗的一批玻璃器,有"白玻璃圆盘子一""玻璃花瓶七""玻璃碗四"等。

宋蔡绦撰写的《铁围山丛谈》[24]中,更有进口半成品玻璃料块的记载:"时(政和四年)奉宸中得龙涎春二琉璃缸,玻璃母二大篚。玻璃母者,若今之铁滓然,块大小犹儿拳,人们莫

知其方，又岁久无籍，且知所来，或云柴世宗显德间，大食所贡，又谓真庙朝物也。玻璃母诸珰以意用火煅而模写之，但能作珂子状，青红黄白随其色，而不克自必也。”

元陈旅的《陪赵公子游蒋山即席次李五峰韵》[25]诗有这样的描述：“石液玻瓈碧，云根玛瑙殷”，可见陈旅已经知道，用石头（指矿物原料）熔化成液体状后制造成的材料碧透晶莹，称之为玻瓈。到了明代，对进口的玻璃器称为玻璃更为普遍。在张燮的《东西洋考》[26]中，把荷兰生产的玻璃器都称作玻瓈。万历年间进士顾起元在《客座赘语》[27]中很清楚地说“玻璃杯、镜，乃烧成者”：

“玻璃：一作颇梨，一作玻璃，西国宝，千年冰作化，故曰冰玉。今有外国所市玻璃杯、镜，乃烧成者。又有五色小瓶，值极高，其质俱自销冶所成，非所谓冰玉也，恐别是一种耳。”

明曹昭在《格古要论》[28]中也说：“玻璃多出南番……与水晶相似。”

清李调元在《南越笔记》[29]中记载道：“玻璃，来自海舶。西洋人以为眼镜。……”

应该说，宋代以后，进口玻璃器在人们的认识中，已经明显地与自制玻璃称谓不同了，直呼其“玻璃”。但是，这时期中国自制玻璃在技术和原料上，仍然停留在仿玉制品的阶段，所以，虽然在5世纪南北朝时，西方吹制玻璃技术已传入，但没有得到很好的发展，而从社会需求上看，仿玉制品更为社会上各阶层所接受，所以玻璃仿玉的名称也在一定范围得到流传，比较明显的是在宋、明时期史料中有不少记述。

苏东坡在《独酌试药玉滑盏，有怀诸君子。明日望夜，月庭佳景不可失，作诗招之》[30]这首五言古诗中咏到：“熔铅煮白石，作玉真自欺。琢削为酒杯，规摹定州瓷。荷心虽浅狭，镜面良渺弥。持此寿佳客，到手不容辞。……”

还有一首苏东坡的七言律诗《正月三日点灯会客》写道：“江上东风浪接天，苦寒无赖破春妍。试开云梦羔儿酒，快泻钱塘药玉船。……”

从苏东坡的诗作中可见，当时人工自制的玻璃，可以制成仿玉的酒杯，这时的玻璃也就叫做“药玉”。当然，药玉的提出，一是源自实际工艺，就是以药（即铅矿石、白砂石等）熔制而成的，似玉一样的材料；二是由历史上同类沿用，如“以药作珠”“加以众药”“熔化药石”等。所以，诗人能直接描述“熔铅煮白石，作玉真自欺”，应该说这种玻璃的熔制方法，差不多到了家喻户晓的地步。

《明史·舆服三》[31]“文武官冠服”等中规定了官员的冠服佩戴的等级。如“一品至九品，以冠上梁数为差。……一品，冠七梁，不用笼巾貂蝉，革带与佩俱玉，……二品，六梁，革带，绶环犀，……三品，五梁，革带金，佩玉，……四品，四梁，革带金，佩药玉，……”五品以下均佩药玉。这充分说明，明代从官方的制度上确认了“药玉”的地位。

然而，在明之前的元代，早已从机构上设置了“瓘玉局”。《元史·百官之四》[32]中，“瓘玉局”隶属于“将作院”，其职能是“掌成造金玉珠翠犀象宝贝冠佩器皿”等。“瓘玉局，秩从八品”。这时用“瓘玉”来称呼人造玻璃材料，到了明代又演变成为“罐子玉”，正如《格古要论》中记述的：“罐子玉：雪白罐子玉系北方用药于罐子内烧成者。若无气眼与真玉相似。”这样看来，“罐子玉”是很形象的名称，就是指在罐子里用药熔（烧）制的（仿）玉，与“药玉”大体相同。

明代还出现另一个玻璃的名称——硝子。这与玻璃的配方使用硝石（即KNO_3）作助

熔剂有关。巩珍在《西洋番国志》[33]中就用“硝子珠”来称呼自制的玻璃珠：“占城国即释典，所谓王舍城也。……所喜中国青磁盘碗等器及纻丝绫绢硝子珠等物”；“然国人最喜青花瓷器并麝香花绣纻丝硝子珠等货，国王常采方物遣使进贡中国”。这些记述明显说明了当时中国自制玻璃珠（即硝子珠）已传到了东南亚一带。《格古要论》中也有“硝子，假水晶，用药烧成者，色暗青，有气眼，或有黄青色者，亦有白者，但不洁白明莹”的记载。李时珍在《本草纲目》中也有“水精，药烧成者，有气眼，谓之硝子，一名海水精”的记述。随后硝子的名称被传入日本，所以现在日本的玻璃制造厂多被称为“××硝子株式会社”，可能有此历史渊源。

至于“料”或“料器”的名称也有不少记载。明徐㶿在《徐氏笔精·料丝灯》[34]中写道：“料丝，出滇南金齿者胜，询之土，人云以玛瑙紫石英诸药品捣为屑煮如粉，必市北方天花菜点之方凝即缫为丝，织如绢状上绘山水人物，诸色极晶莹可爱，煮料丝，故名料丝。”北京在清代时，把从山东博山运送来的玻璃块料的半成品原料称“料”，而加工后的产品则称为“料器”，这可能就是当时或者至今，对传统的艺术玻璃制品称之为“料器”的渊源。山东博山发现了元末明初玻璃作坊的遗址，说明博山是中国自元末以来玻璃制造的主要产地之一。在清乾隆年间生产的套色刻花玻璃瓶、壶等，其称呼仍然沿用“琉璃”，而“博山美术琉璃厂”的厂名现在也依然保留着“琉璃”二字，这正是中国玻璃名称的特殊性。此外，还有不少外来语包括梵语等，就不再赘述了。

综上所述，为了便于了解古代玻璃名称和相关史料，将其列于表8.1中，供参考。

表8.1 古代玻璃在史料中的名称

名称	时代及史料
璆琳（琅玕）	**战国** 《尚书·禹贡》《管子·轻重甲》《穆天子传》 **西汉** 《史记·夏本纪第二》《山海经·中山经》《尔雅·释地》[35]、《子虚赋》《上林赋》[36] **东汉** 《论衡·率性篇》《两都赋》 **晋** 《怀旧赋》 **南北朝** 《后汉书·西域传》《魏书·西域》 **唐** 《北史·西域》《新唐书·西域传》
陆离	**战国** 《楚辞》："离骚篇”“九歌篇·大司令”“九章篇·涉江” **东汉** 《汉书·扬雄传·校猎赋》
琉璃（流离、瑠璃）；璧流离	**西汉** 《孝经·援神契》[37]、《盐铁论·力耕第二》《西京杂记》 **东汉** 《汉书·地理志》《汉书·西域传》《汉武故事》《古诗为焦仲卿妻作》[38] **晋** 《华阳国志·南中志》《拾遗记》《潘太常集》 **南北朝** 《魏书·西域》《后汉书·南蛮西南夷列传》《后汉书·西域传》《世说新语》 **唐** 《隋书·何稠》《北史·西域》《一切经音义》《晋书·崔洪传》《河东记·胡媚儿》[39] **后晋** 《旧唐书·西戎传》 **宋** 《新唐书·西域传》《演繁露》[40]、《资治通鉴》[41]、《铁围山丛谈》 **元** 《宋史·占城国传》 **明** 《青州府志》[43]、《客座赘语》《格古要论》《天工开物》《帝京景物略》[44]、《多能鄙事》 **清** 《宋会要辑稿》[42]、《颜山杂记·琉璃》[45]、《物理小识》[46]、《大同县志》[47]

（续表）

名　称	时 代 及 史 料
药玉；瓘玉（假玉）；罐子玉	宋　《苏东坡全集》 明　《元史·百官志》《格古要论》 清　《明史·舆服三》
硝子；料（器）	明　《格古要论》《本草纲目》[48]、《西洋番国志》《徐氏笔精·料丝灯》
玻璃	宋　《武林旧事》《铁围山丛谈》 明　《东西洋考》《客座赘语》《格古要论》 清　《南越笔记》《香祖笔记》《元诗百一钞·陪赵公子游蒋山》
其他：水精；颇黎（瓈）；颇胝；吠瑠璃、毗琉璃、髀头梨、鞞瑠璃、鞞头梨	晋　《抱朴子·内篇》 唐　《一切经音义》《梵书》《酉阳杂俎》 后晋　《旧唐书·西戎传》 宋　《新唐书·西域传》

8.2　古代玻璃中西交流的史料

西方玻璃的传入是随着中西交往的开通、文化技术的交流而实现的。有史料和考古证明，中西文化交流比较有科学根据的时间，大致可以推定在公元前11世纪，即中国商、周之交。两汉时期，“丝绸之路”已成为中原文明和中亚、西亚文明交流的一个重要通道，并进入一个新的历史阶段，载入世界文明史的史册。干福熹在《丝绸之路上的古代玻璃研究》[49]一书中写道，“按照联合国教科文组织的提法，中外来往的通道约有以下4条：① 北方（草原）通道；② 西北（沙漠）通道；③ 西南（佛教）通道；④ 南方（海上）通道”。这是对历史的肯定。丝绸之路当时影响两汉甚至一直到盛唐时期的文化、技术和经济的发展。另如《汉书·西域传第六十六》所述，当时出现了“殊方异物，四面而至”及“赂遗赠送，万里相奉”的盛景。所以，史称张骞“凿空”[50]开拓中西交通、促进中外交流，实属“前古未闻也”。

8.2.1　“丝绸之路”——中西交流的主要通道

西汉时，玉门关和阳关以西，即今新疆乃至中亚地区，曾被称作西域。如《汉书·西域传第六十六》记载，“自玉门、阳关出西域有两道。从鄯善傍南山北，波河西行至莎车，为南道；南道西逾葱岭则出大月氏、安息。自车师前王廷随北山，波河西行至疏勒，为北道；北道西逾葱岭则出大宛、康居、奄蔡焉”。即当时与西域陆路交通主要有南、北两路。南路是从敦煌经鄯善（今新疆若羌东北）、莎车等地，越葱岭（今帕米尔高原），到大月氏（今阿姆河流域中部）、安息（波斯，今伊朗），再往西，达条支（今波斯湾）、大秦（即罗马帝国，今地中海东部一带）等。北路是从敦煌经车师前王庭（即高昌，今新疆吐鲁番）、龟兹（今新疆库车）、疏勒（今新疆喀什）等地，越葱岭，到大宛（今吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦费尔干纳盆地）、康居（今哈萨克斯坦锡尔河中游地区），再往西南，经安息，而西达大秦。

史载，张骞在大夏（今阿富汗北部）都城的市场上，见到了大月氏的毛毡、大秦国的海西布、安息国的五色罽（罽即古代一种毛织品），尤其令人惊奇的是，市场上竟有汉代四川的邛竹杖和蜀布。这些都是由大夏商人从身毒国（今印度）贩来的。由此推知，早在张骞出使西域前从蜀地就有道路可通往身毒、大夏等国。所以，张骞从南路经羌族地区东返，几经周折于公元前126年回到长安（今陕西西安市，下同）。

张骞向汉武帝详细报告了西域的情况，包括他在大夏时得知的由蜀地西南取道身毒可以通往大夏一事。正如《史记·大宛列传第六十三》中所记载的，骞曰："臣在大夏时，见邛竹杖、蜀布。问曰：'安得此？'大夏国人曰：'吾贾人往市之身毒。身毒在大夏东南可数千里。其俗土著，大与大夏同，而卑湿暑热云。其人民乘象以战，其国临大水焉。'以骞度之，大夏去汉万二千里，居汉西南。今身毒又居大夏东南数千里，有蜀物，此其去蜀不远矣。今使大夏，从羌中，险，羌人恶之；少北，则为匈奴所得；从蜀宜径，又无寇。"于是建议汉武帝开通西南夷道。这就是"蜀、身毒国道"，亦被称为"西南（佛教）丝绸之路"。汉武帝时期经过11年的努力，才找到"蜀、身毒国道"的大致方向。

江玉祥[51]撰文提出："这条古道的川滇段有两途：一是'古牦牛道'（即汉'零关道''西夷道'，唐'清溪关道'），从成都出发，经双流、新津、邛崃、名山、雅安、荥经、汉源、越西、喜德、冕宁、西昌，到达会理县境以后，折向西南行，由黎溪的鱼鲊—拉鲊渡口过金沙江，经攀枝花市至云南大姚，最后到达大理地区。另一途，从成都出发，沿岷江而下，经彭山、乐山、犍为至宜宾，再沿秦'五尺道'（即古楚道，汉'南夷道'，隋唐'石门道''牂牁道'）南行，经高县、筠莲，向西折入横江河谷，经豆沙关、大关、昭通、曲靖而抵昆明地区，再从昆明至大理。从大理，经缅甸，至印度的道路（即汉'博南道''永昌道'，唐'西洱、天竺道'）又有三条。"

此外还有如《汉书·地理志第八下》记载的西南入海航路："自日南障塞、徐闻、合浦船行五月，有都元国；又船行可四月，有邑卢没国；又船行可二十余日，有湛离国；步行可十余日，有夫甘都卢国。……自夫甘都卢国行船可二月余，有黄支国，民俗略与珠崖相类。其州广大，户口多，多异物，自武帝以来皆献见。有译长，属黄门，与应募者俱入海市明珠、璧流离、奇石异物，赍黄金杂缯而往。所至国皆禀食为耦，蛮夷贾船，转送致之。"

"黄支国"是古代一国名，约位于今印度马德拉斯西南的康普腊姆附近，或位于今印度尼西亚苏门答腊岛西北部亚齐附近。汉武帝和王莽时期，黄支国同中国有使节往来。"属黄门"为官署名，在《汉书·霍光传》中颜师古有注："黄门之署，职任亲近，以供天子，百物在焉。"

应该注意的是，"璧流离"从何而来？西汉时期，实际上对外交往不仅有陆上的"丝绸之路"，而且同时开通了南洋航路，即被称为"南方（海上）丝绸之路"，远达南印度洋航线，所以，由汉朝廷"黄门署"派人，携带着黄金和各色丝绸前往"黄支国"等换取"明珠、璧流离、奇石异物"，"以供天子"。从而说明当时玻璃已作为贸易商品通过各种渠道输入中国。

这正是班固在他的《汉书》的两个部分（即"地理志"和"西域传"）中，都记述有"璧流离"及其来源地。"西域传"所记述的是出在"罽宾国"（见本章8.1.2节）；而"地理志"中却

从西南入海，由"蛮夷贾船，转送致之"在南印度的"黄支国"，用黄金和丝绸换取。因此可以认为，"璧流离"虽为同一物，但是在交通通道方面，则一为陆上丝绸之路，二为海上航路。可见，西方传入的玻璃主要产地还是在大秦。"师古曰：'魏略云：大秦国出赤、白、黑、黄、青、绿、缥、绀、红、紫十种流离。'孟言青色，不博通也。此盖自然之物，彩泽光润，逾于众玉，其色不恒。今俗所用，皆销（冶）石汁，加以众药，灌而为之，尤虚脆不贞，实非真物"。这里"孟言青色"就是指孟康注释过"流离青色如玉"。

8.2.2 西方传入的玻璃制品和技术

从史料上看，这个时期"玻璃"来自西方的大量记载，同时，也看到有涉及玻璃的有关器物的记述。

西汉刘歆所撰《西京杂记》[52]中记载："武帝时，身毒国献连环羁，皆以白玉作之，玛瑙石为勒，白光琉璃为鞍。鞍在暗室中常照十余丈如昼日"。"赵飞燕女弟居昭阳殿，……窗扉多是绿琉璃，亦皆达照，毛发不得藏焉"。

东汉班固在《汉武故事》[53]中也提到："武帝好神仙，起神屋，扉悉以白琉璃作之，光明洞彻。"

关于"琉璃窗扉"的记载还有不少史料，如晋王嘉的《拾遗记》[54]、唐王棨的《琉璃窗赋》等。此外还有碗、盘、杯、盏、瓶之类琉璃器皿的记述，如西晋张隐在《文士传》中写有："潘尼与同僚饮，主人有琉璃碗，使客赋之，尼於座立成。"文中"潘尼"当时即兴"於座立成"的《琉璃碗赋》已辑入《潘太常集》[55]中。还有，在《世说新语・纰漏第三十四》[56]中，"王敦出丑"说的是："婢擎金澡盘盛水，琉璃碗盛澡豆"，王敦就把澡豆倒到水中吃起来，说是干饭，"众婢莫不掩口而笑之"。

唐房玄龄的《晋书・崔洪传》[57]中描述了用瑠璃锺（琉璃盅）行酒："洪口不言货财，手不执珠玉。汝南王亮常宴公卿，以瑠璃锺行酒。酒及洪，洪不执。亮问其故。对曰：'虑有执玉不趋之义故尔。'"这时西方传入的玻璃制品，已经成为上层人物的手中之宝器。这则"崔洪传"之例中，"洪"连珠玉都不拿，玻璃酒杯也是不肯接的，否则就有"执玉不趋之义"的顾虑了。可见，西汉以后地中海沿岸一带的玻璃制品已大量传入中国，这标志着中西文化贸易的交流有了相当的发展，并被考古发掘所证明。

从玻璃器物的输入到玻璃技术的传入，更进一步证明了当时玻璃制品的需求，同时，也反映了玻璃技术的中西交流使中国自制玻璃有了新的发展，尤其西方的玻璃吹制法的传入，使得中国玻璃器皿种类和相关的化学成分都发生了相应的变化。

东晋葛洪在《抱朴子・内篇・论仙》[58]中讲到，"外国作水精碗，实是合五种灰以作之，今交广多有得其法而铸作之者"。这说明，当时在中国南方的两广交趾一带已经能够运用西方传入的技术制作玻璃碗之类的器皿。到了5世纪南北朝时，从波斯来了玻璃制造工匠，引进了玻璃吹制技术。北齐魏收所编撰的《魏书・西域》[59]中记载："大月氏国，……世祖时，其国人商贩京师，自云能铸石为五色琉璃，于是采矿山中，于京师铸之。既成，光泽乃美于西方来者。乃诏为行殿，容百余人，光色映彻，观者见之，莫不惊骇，以为神明所作。自此国中琉璃遂贱，人不复珍之。"这段记述肯定了在"世祖时"，大月氏国工匠来京都制造玻璃，

当然其技术是由西方带来的，玻璃制品的品质“光泽乃美于西方来者”。对于“自此中国琉璃遂贱，人不复珍之”的理解，应该认为由于引进了西方的玻璃技术，尤其引进了吹制技术后，玻璃制品已向人们生活的实用方面发展，而不只是汉时或汉前仅作为装饰品，所以珍贵程度确实逐步下降，也就是说自制的玻璃器皿如碗、瓶、盘、杯等，应该比作装饰的“珠宝”要贱，而且也比西方进口的玻璃制品便宜多了。

1世纪东汉初期，佛教开始传入中国，一直到了唐中期的800年间，大量佛教经籍传入并译成汉文。这些佛教经籍中出现了不少与玻璃有关的名词，如吠瑠璃、鞞瑠璃、鞞头梨等（表8.1）。所以，隋唐时期的玻璃制品有一个明显特点，即出现了与佛教有关的大量舍利玻璃瓶。

8.2.3 先秦时期中西交流的探讨

汉通西域开拓了中原与中亚、西亚的交通，已被历史所肯定。在研究中国古代玻璃技术发展史时，对于考古工作不断发掘出土的大量先秦时期的玻璃器物的研究，不仅有助于对中国古代玻璃技术起源问题作深入的探究，也从不同角度探讨了先秦中西交往的必要，研究古代玻璃早于西汉西北“丝绸之路”的可能。已有书籍和资料研究了这方面的问题，认为中原与中亚、西亚地区的交流早在张骞通西域之前就已经开始，并且逐渐具有相当的规模。

上面（8.2.1节）已提到西南（佛教）丝绸之路，有人认为可能历史至少可以追溯到公元前4世纪，中国当时正处于东周及战国中期（前770—前256）。1936年考古学家在今阿富汗喀布尔以北60 km处发掘出亚历山大城（约建成于公元前4世纪）时，曾在一处城堡中发现许多中国的纺织品，其中包括丝绸织品。由于西北的“丝绸之路”尚未开通，所以，这些丝绸很可能是从成都经“西南丝绸之路”运到印巴次大陆，然后转手到中亚地区。对此亦可以推断，古代中国作为装饰品的玻璃及珠宝等，与丝绸一样，应该首先是从“西南丝绸之路”上开始进行交流的。

据《晋书·束晳传》记载，西晋初年，汲郡人不准盗发了一座战国魏王的陵墓，“得竹简小篆古书十余万言”，这就是著名的“汲冢竹书”的出土，其中《穆天子传》一书共五篇，记述“周穆王游行四海，见帝台、西王母”：周穆王率官兵，驾乘八骏，从处于河洛之地的宗周出发，经由河宗，阳纡之山，西夏氏，河首，群玉山等地，一路西行来到西王母的邦国，与西王母互致交好之辞，宴饮唱和，并一同登山刻石，又继续向西北行，千里驰行，然后返回宗周，其往返行程大约三万五千里，前后经历了约两年，大致已经到达中亚吉尔吉斯斯坦的草原地区。《史记·周本纪第四》中“昭王之子满，是为穆王”，即指穆王姬满。《穆天子传》卷四：“……庚辰天子大朝于宗周之庙乃里西之数曰自宗周瀍水以西至于河宗之邦阳纡之山三千有四百里自阳纡西至西夏氏二千又五百里自西夏至于珠余氏及河首千又五百里自河首襄山以西南至于春山珠泽昆仑之丘七百里自春山以西至赤乌氏春山三百里东北还至于群玉之山截春山以北自群玉之山以北至于旷原之野飞鸟之所解羽千有九百里口宗周至于西北大旷厘一万四千里乃还东南后至于阳纡七千里归于周三千里各行兼数三万有五千里吉日甲申天子祭于宗周之庙”，这就是原文的记载。依此看来，周穆王西行有可能就是最早

记录了中原与西域交往的历史事实。从时间上分析，周穆王起程于“庚辰”年，按干支纪年推算应为公元前941年，返回的年份为“吉日甲申”年，也就是公元前937年。有学者提出比此年代还要早的，“据记载，公元前985年，周穆王带着白圭、玄璧、绫罗绸缎等礼物，来到美丽的青海湖畔，会见了西王母……”[60]，而行程三万五千里。也有学者认为周穆王西行，最西边可能到达欧洲中部地区。岑仲勉在《中外史地考证》[61]的“《穆天子传》西征地理概测”中认为，“《穆传》西征里数，往路共分七段计之，惟返路则只分两段，……自西北大旷原还至阳纡七千里者，荒外之里数也。自阳纡还至宗周三千里也，内地之里数也”。因此可以认为“而穆王自今欧洲中原还归河套乌剌特旗北，其道里乃约略相符”。成书于西汉的《山海经·西山经》[62]中记述有“曰昆仑之丘，是实惟帝之下都”，即指天帝下界的都邑。这里所说的“昆仑之丘”，很可能就是现在的巴颜喀拉山。还有“玉山”，传说是西王母居住之地，这与周穆王“升采石之山，……使民铸以成器于黑水之上”有什么相连之处，就需要再作进一步探讨了。

8.3 中国古代玻璃制造技术的产生及成分配方

在本章8.1节从史料分析古代玻璃的名称中，已涉及古代玻璃的制造问题，亦引用了诸如《穆天子传》《论衡》等古籍，说明中国古代玻璃的制造技术是有历史记载的，而且玻璃器的形态特征多与中国古代社会的装饰、礼器及民族文化体现等有直接关系。

从尊重历史、研究历史的角度，来分析史料中关于玻璃制造技术的产生、成分及玻璃器形态特征的记述，可以更好地了解中国古代玻璃技术发展的历史事实。

战国时期成书的《穆天子传》卷四记载：“辛巳天子东征，有采石之山，凡好石之器于是出。升山取采石，铸以成器于黑水之上。”这段故事应该出于西周时期，描述了“取采石”而“铸以成器”的生产活动。

西汉刘安著的《淮南子·览冥训》[63]中记述：“往古之时，四极废，九州裂，天不兼覆，地不周载，……于是女娲炼五色石以补苍天。”难以想象的是，远古时代能用五色矿石炼出与“青天”相近的材料。

以上史料提及“取采石”和“炼五色石”，一个是“铸以成器”，另一个是“以补苍天”，这样的生产活动是否可以看作与熔炼玻璃有关呢？当然，以下东汉王充所论，更能体现当时玻璃制造的事例了。

王充在《论衡·率性篇》中提到：“《禹贡》曰‘璆琳琅玕’者，此则土地所生，真玉珠也。……

“然而道人消烁五石，作五色之玉，比之真玉，光不殊别；……

“然而随侯以药作珠，精耀如真，……

“消炼五石铸以为器，磨砺生光，仰以向日，则火来至，……”

这几段论述，以唯物主义思想证明了“天道有真伪”的观点，同时也明确地记述了，当时人工制造的“材料”可以“作五色之玉”，可以“作珠”，还可以“作阳燧”。这样的“材料”做成的“五色玉”光泽晶莹，与真玉没有差别；做成的“珠”精致光亮，和真的一样；做成的

"阳燧",经过磨砺后的镜面很光亮,"仰以向日",可以"取火于天"。

从现在的技术观点看,王充所论及的"材料"和"实物",正是"玻璃"的仿玉器:"玻璃"的珠和"玻璃"的阳燧。王充同时还提出要取得这种"材料"的"实物",就是通过"消炼(烁)五石(加药)"的方法来实现。这是王充主观上从唯物论角度总结了东汉以前(也即《论衡》成书前)的社会实践,论证了他的辩证思想;同时客观上记载了古代玻璃制造技术。中国在战国至汉时期,主要的玻璃制品有珠、管、环、璧、耳珰、剑饰、阳燧及各种镶嵌"玻璃"的器物等,因此王充的论述是符合当时的历史实际的。

在现代考古发掘中,不断出土了许多先秦和西汉时期的部分玻璃器物,如战国、西汉时期的琉璃璧、耳环、耳珰、剑饰和印章等,这些似乎只有中国古代才有的器物和纹饰(云纹、谷纹、蟠螭纹、面兽纹、柿蒂纹等),体现了中国民族文化艺术特征。

《淮南子・览冥训》中有"随侯之珠,和氏之璧"之说,与王充之论基本吻合。璧是中国传统的重要器物之一,也是用于"礼仪"的一种饰物。从新石器晚期至汉代的约3 000年间,用玉璧作随葬品成为当时社会的习俗。战国时期的玻璃璧,不论从形态、颜色还是纹饰都与玉璧相似,所以"比之真玉,光不殊别"了。随珠在历史上很有名,在《庄子・让王》[64]中就有"随珠弹雀"之典故。玻璃珠应该在春秋战国时期已相当广泛,中国发现的最早的玻璃中就有镶嵌玻璃珠,到了战国中晚期,蜻蜓眼玻璃珠很快就发展成为常见的器物,而且很多典型的中国风格的玻璃器物也随之出现。因此,不能不认为与中国古代玻璃制造技术的产生与发展有直接关系,这些被现代考古发掘工作完全得到了证实。

安家瑶在《玻璃器史话》[65]中提到,"战国中晚期,即公元前4世纪和公元前3世纪,镶嵌玻璃珠的出土地点遍布全国,相对集中于湖南、河南和湖北三省。与春秋末战国初不同,这一时期的镶嵌玻璃珠不仅出土于墓主身份较高的大墓,也出土于普通百姓的墓葬。例如河南辉县固围村1号墓、湖北江陵马山1号楚墓是大型墓葬,但是湖南资兴旧市和陕西咸阳黄家沟的战国墓葬都是中小型墓葬"。该书中还提到"战国中晚期镶嵌玻璃珠的化学成分与春秋末战国初的珠子有很大变化",已经是以氧化铅(PbO)和氧化钡(BaO)作助熔剂的铅钡玻璃,这是中国古代玻璃中独特的一种。

王充所说的"五色之玉""珠"和"阳燧",可以肯定是人造的玻璃材料。至于提到"消炼五石"的方法,是由"道人"或"道士之教至",这可以认为就是当时从事炼丹的道人所为。东汉炼丹家狐刚子所撰写的《五金粉图诀》[66](又称《粉图经》),就是介绍以金属铅煎炼铅丹的专著。《五金粉图诀》中的"制铅丹法"讲道:"铅十斤,铁杯中销铄令作青砂。铁盆中,铁鎚研腾,取黄汁,新瓦中暴取粉黄,和玄精汁为团,如鸡子,阴干,镣炉中销取铅精,铁杯中猛火还销铄一伏时,即铅丹。"

用铅的矿石炼丹是中国历史上一部分道家的重要活动,目的在于企图通过饮用修炼的各种丹药,求得长生不老。因此,很有可能由于这些道人们在其反复炼制金丹的过程中,发现了用铅矿石和石英砂为原料,经过焙烧得到了光洁晶莹、质地如玉的材料,这很自然被认为就是玻璃材料的产生及其技术的出现。

从目前有关资料看,玻璃技术的起源来自中国早期的炼丹术的说法还是比较多的,与王充的论述基本吻合。

英国著名学者李约瑟在《古代中国科学对世界的影响》[67]一文中提到:“我们称呼他们为炼金术家而非炼丹术士。炼丹术士这名词指只对长生不老有兴趣的人;而炼金术家的兴趣却是炼金和仿制珠宝。”这说明有一些炼丹的“炼金术家”为了得到仿制珠宝,进行炼丹活动,这与王充所述的情况——“作五色之玉”和“以药作珠”基本符合,反映了当时道士们“销铄”珠玉的活动,可能正是导致玻璃出现的来源之一。

唐赵耐庵在其《涌泉匮法》[68]中谈制作“药金”“药银”时便提到:“万法多门,乾汞则一,……有‘关药’数种,有玻璃关、……”。其中所谓“关”的通俗的说法就是“点化药”(即助熔剂),“玻璃关”大概就是指黄丹(Pb_3O_4)、草木灰(K_2CO_3)、硝石(KNO_3)等作为玻璃的助熔剂。

下面列举几则与玻璃配方有关的史料。

(1)唐孙思邈在《太清丹经要诀》[69]中的“造玉泉眼药方”:

“取水精二两,末之。

“取铅成炼者(熟铅Pb)二斤,熔之。以此药丸如桐子大,投中,搅之为真白矣。”

这里所说的“水精”应是石英(SiO_2),用石英和金属铅熔炼出来的材料应该就是玻璃,这种配方的玻璃为铅玻璃(SiO_2-Pb)。

(2)唐《金华玉液大丹》[70]中的“琉璃液”配方:

“铅黄华半斤,加硝二两、硼二两,大(火)扇作汁。”

按这个配方所制成的玻璃,显然不仅含有K_2O,而且还有B_2O_3,即成为$PbO-K_2O-B_2O_3-SiO_2$系统。

根据《丹方鉴原》[71]称:硼砂出果州(今四川南充),因路途艰险,交通不便,只有少数炼丹家使用,所以“琉璃液”这种配方未能推广,以至失传。

(3)为熔制玻璃,先炼制“黄丹”:

唐炼丹术专著《丹房镜源》[72]的“硝黄法”和明《本草纲目》的“硝矾法”都有炼制“黄丹”的记述。

“硝黄法”:“凡造丹,用铅一斤,硫二两,硝一两。先熔铅成汁,下醋点之,滚沸时下硫一小块,续下硝少许,沸点再点醋,依前下少许硝,沸尽黄亦尽。炒为末,成黄丹。”

明刘基编《多能鄙事》[73]中记述的“炼琉璃方”:“黑锡(即铅)四两、硝三两、白矾二两、白石二两。捣飞极细。以锅用炭火熔前三物,和之。”

这其实就是“硝矾法”:用硝石、明矾与金属铅“合炒”即为“熔前三物”,然后再与白石“和之”,熔成玻璃。

(4)《天工开物》[74]的“珠玉篇”中记载的玻璃制造配方是:“合化硝、铅,珠、铜线穿合者为琉璃灯,捏片为琉璃瓶袋。”

(5)正因为炼金术家与炼丹术士在活动的目的上有差别,所以也可从一些炼丹术的史料中看到非铅的玻璃制造配方。上面提到的《太清丹经要诀》所说的“造玉泉眼药方”是指熔制铅玻璃的配方,而在同一本书中所记述的“造玉法”完全就是熔制钾钙玻璃的配方:

“取大蛤蒲捣为末,细研之,取一斤纳竹筒中,复纳硝石,密固之,纳左味中,二十日成水

后，取石英半斤，捣作末，投筒中即凝，好炭炭火，火之令赤，即成白玉。”

这个配方得到的玻璃为钾钙玻璃，因为“蛤蒲”是一种贝壳，其主要成分为$CaCO_3$；“左味”即为醋，含有醋酸（CH_3COOH）；硝石为硝酸钾（KNO_3）；还有石英（SiO_2）。这样的化学成分进行熔炼，在“火之令赤”的温度下，得到的“白玉”就是玻璃。

由于古代炼丹术士的社会实践，虽然起始的目的不同，但是后来发现了“新的东西”，并且成为一门新的技术，这是符合技术发展的普遍规律的。一项新技术的产生，往往包含在原有的成熟技术中，玻璃技术的产生应该也是这样。所以，炼丹术士在其中的贡献是值得进一步探讨的。

关于玻璃制造技术的来源，除“炼丹说”外，还有“青釉烧制说”“青铜冶炼说”等。

在本章8.1节中，提到除玻璃（亦称料器）外，还有天然宝石及低温铅釉均称“琉璃”，这可能是由于中国的铅玻璃器和陶釉器皿都是经过较低温烧造；其原料中都有铅的成分；工艺相近，外观、色泽又极为相似的缘故。

《隋书·何稠传》[75]中记述：“稠博览古图，多识旧物。……时中国久绝瑠璃之作，匠人无敢厝意，稠以绿瓷为之，与真不异。”何稠用“绿瓷”作瑠璃，这与铅釉作琉璃可能很相近。在宋代《营造法式》中也明确记述了琉璃的用料配方：“每黄丹三斤，用铜末三两、洛河石一斤。”据考洛河石为白色石料，SiO_2含量达96.81%，是一种相当纯的石英料。

玻璃起源于冶铜生产，最早的玻璃是作为冶铜副产品出现的，这完全是基于青铜冶炼技术早在中国殷商时期就已成熟，玻璃技术的产生在其基础上而被发现。

关于玻璃的起源问题，已在科技界和考古界引起了广泛的关注，大家从不同角度进行了有益的探讨，相信随着考古的新发现和科技检验手段的更加完善，经过大家的共同努力，中国古代玻璃的起源会得到更科学的正确答案。

参考文献

[1] 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集[M].北京：中国建筑工业出版社，1986.
[2] 张维用."琉璃"名字考[J].玻璃与搪瓷，1998(6)：58-60.
[3] 张福康，程朱海，张志刚.中国古琉璃的研究[J].硅酸盐学报，1983，11(1)：67-76.
[4] (清)吴汝纶订.尚书[M].[出版地不详]：[出版者不详]，1892(清光绪十八年).
[5] [佚名].辞海[M].上海：上海辞书出版社，1979：1116.
[6] 管仲.管子[M].影印宋版本.[出版地不详]：[出版者不详]，1879(清光绪五年).
[7] (晋)郭璞注.穆天子传[M].影印明四明范氏天一阁刻本.上海：商务印书馆，1919.
[8] 司马迁.史记[M].北京：中华书局，1959.
[9] 班固.汉书[M].北京：中华书局，1962.
[10] 许慎.说文解字[M].影印版.北京：中华书局，1963.
[11] 王充.论衡[M].上海：上海人民出版社，1974.
[12] 杨伯达.西周玻璃的初步研究[J].故宫博物院院刊，1980(2)：14-24.
[13] 屈原，等.楚辞[M].长春：时代文艺出版社，2001.

[14] 高至喜.湖南出土战国玻璃璧和剑饰的研究[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1986：53-58.
[15] 后德俊.谈我国古代玻璃的几个问题[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1986：59-64.
[16] 桓宽.盐铁论[M].上海：上海人民出版社，1974.
[17] 范晔.后汉书[M].北京：中华书局，1965.
[18] 常璩.华阳国志[G].明吴琯校刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[19] 黄留珠.周秦汉唐文明[M].西安：陕西人民出版社，1999.
[20] 李晓岑.关于中国铅钡玻璃的发源地问题[J].自然科学史研究，1996，15(2)：144-150
[21] 李诫.营造法式[G].朱启钤石印本.[出版地不详]：[出版者不详]，1919.
[22] 王士祯.香祖笔记[G].清康熙北京精刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，1924.
[23] 周密.武林旧事[G].宋廷佐刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，1518(明正德十三年).
[24] 蔡绦.铁围山丛谈[M].文渊阁本四库全书影印.上海：上海古籍出版社，1987.
[25] 张景星，姚培谦，王永琪.元诗百一钞[M].然藜阁藏版影印本.北京：中华书局，1975.
[26] 张燮.东西洋考：中外交通史籍丛刊5[M].北京：中华书局，2000.
[27] 顾起元.客座赘语[G].清抄本.[出版地不详]：[出版者不详]，[1617].
[28] 曹昭原.格古要论[G].明天顺年刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[29] 李调元.南越笔记[G].李氏刻本海本.[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[30] [佚名].苏东坡全集[M].注译本.北京：燕山出版社，1998.
[31] 张廷玉，等.明史[M].北京：中华书局，1974.
[32] 宋濂，等.元史[M].北京：中华书局，1976.
[33] 巩珍.西洋番国志[G].清彭氏知圣道齐抄本(彭元瑞校).[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[34] 徐勃.徐氏笔精[G].明崇祯年间刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[35] 郭璞注.尔雅[M].影印宋刻本.上海：商务印书馆，1919.
[36] 司马相如.古文鉴赏辞典[M].上海：上海辞书出版社，1997.
[37] 李隆基.孝经[G].金陵书局刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，1868(清同治七年).
[38] [佚名].中国诗词精粹：汉魏诗选[M].天津：天津人民出版社，2001：111.
[39] [佚名].太平广记选：上册[M].济南：齐鲁书社，1980：134.
[40] 程大昌.演繁露[G].民国武进陶氏精刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[41] 司马光，等.资治通鉴[M].北京：中华书局，1956.
[42] 徐松.宋会要辑稿[G].影印清嘉庆十四年大兴徐氏原稿本.北京：国立北平图书馆，[时间不详].
[43] 杜思修，冯惟讷，等.青州府志[M].上海：上海古籍书店，1965.
[44] 刘侗，于奕正.帝京景物略[M].上海：上海古籍出版社，2001.
[45] 孙廷铨.颜山杂记[G].刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，1665(清康熙四年).
[46] 方以智.物理小识[G].[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[47] 黎中辅.大同县志[G].刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，1830(清道光十年).
[48] 李时珍.本草纲目[M].长春：时代文艺出版社，2001.
[49] 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究[M].上海：复旦大学出版社，2007：13.
[50] [佚名].祖国[M].北京：中国青年出版社，1981：75.
[51] 江玉祥.古代西南丝绸之路研究：第二辑[M].成都：四川大学出版社，1995：1.
[52] 刘歆.西京杂记[G].清刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[53] 班固.汉武故事[G].明吴琯刻本第十五册.[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[54] 王嘉.拾遗记[G].明陈汝元校稗海本.[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[55] 潘尼.潘太常集[G].明天启崇祯年间刻本.[出版地不详]：[出版者不详]，[时间不详].
[56] 刘义庆，等.世说新语[M].长春：时代文艺出版社，2001.

[57] 房玄龄,等.晋书[M].北京：中华书局,1974.
[58] 葛洪.抱朴子：内篇[M].北京：燕山出版社,2001.
[59] 魏收.魏书[M].北京：中华书局,1974.
[60] [佚名].西王母是才貌双全的政治家[N].中国剪报,2004-02-27(8).
[61] 岑仲勉.中外史地考证[M].北京：中华书局,1962.
[62] 刘歆.山海经[M].北京：燕山出版社,2001.
[63] 刘安.淮南子[M].上海：中华书局,1936.
[64] [佚名].庄子校释[M].1924年上海泰东图书局本影印.[出版地不详]：中国书店,1988：227.
[65] 安家瑶.玻璃器史话[M].北京：中国大百科全书出版社,2000.
[66] 容志毅.中国炼丹术考略[M].上海：生活・读书・新知三联书店,1998：65.
[67] 李约瑟.抖擞[M].[出版地不详]：[出版者不详],1974.
[68] [佚名].道藏：洞神部众术类.总第595册[G].上海涵芬楼影印.[出版地不详]：[出版者不详],[时间不详].
[69] 张君房.云笈七签：卷七十一[J].济南：齐鲁学社,1988.
[70] [佚名].道藏：洞神部众术类.总第590册[G]上海涵芬楼影印.[出版地不详]：[出版者不详],[时间不详].
[71] [佚名].道藏：洞神部众术类.总第596册[G]上海涵芬楼影印.[出版地不详]：[出版者不详],[时间不详].
[72] [佚名].道藏.洞神部众术类.总第595册[G]上海涵芬楼影印.[出版地不详]：[出版者不详],[时间不详].
[73] 刘基.多能鄙事[M].石印本.上海：荣华书局,1917.
[74] 宋应星.天工开物[M].影印明崇祯十年刻本.北京：中华书局,1959.
[75] 魏徵,等.隋书[M].北京：中华书局,1973.

第9章　中国黄河和长江中下游地区先秦和汉代的玻璃技术

后德俊

本书下面几章将中国古代玻璃的介绍主要分成三大部分：一是中国黄河和长江中下游地区的古代玻璃技术（第9~12章、第17章）；二是中国北方和西北的古代玻璃技术（第13章）；三是中国南方和西南的古代玻璃技术（第14章）。

中国黄河和长江中下游地区是中华文明主要的发祥地和发展区域。釉砂类的文物在此区域发现于西周，而真正的中国古代玻璃器在此区域最早发现于战国早期。在不少考古资料中描述了中国最早生产的以及外来的古代玻璃器。下面分几节介绍各时期出土的古代玻璃器。

9.1　春秋战国时期的玻璃制造技术

9.1.1　发现的春秋及战国时期的玻璃

9.1.1.1　越王勾践剑上的玻璃

迄今为止，在中国考古发现的春秋时期玻璃制品多是以石英砂为主要原料制成的釉砂，当然它们还不能算作真正意义上的玻璃制品。春秋时期，除了类似河南淅川楚墓出土的釉砂之外（苏州真山吴王墓出土的菱形蓝色料珠虽然未作分析，但与西周及春秋墓出土的同类料珠相同，推测也属于釉砂范围），真正玻璃品的发现目前看来只有三例：出土于河南固始侯古堆一号墓的蜻蜓眼玻璃珠（稍后将作论述，认为它们属于从西方输入的产品，并且是楚人的财产）；出土于河南辉县南部战国墓中的吴王夫差（公元前495年—公元前473年在位）剑剑格上的三块蓝色玻璃；1965年出土于湖北江陵望山一号楚墓的越王勾践（公元前497—公元前465年在位）剑剑格上的两块浅蓝色玻璃（图9.1）。

吴王夫差和越王勾践都是中国历史上著名的人物。因为这两把剑上分别铸有“攻吴王夫差，自作其元用”和“越王勾践，自作用剑”的铭文，所以这两把青铜剑的制作年代是比较准确的。正因如此，这两把青铜剑剑格



图9.1 湖北江陵望山一号楚墓出土的镶嵌蓝玻璃的越王勾践剑

上的几块玻璃，对于中国古代玻璃的研究是十分珍贵的资料，历来受到学术界的重视。下面主要对越王勾践剑剑格上的两块玻璃进行一些探讨。

1）越王勾践剑出土时的有关情况

1965年冬，湖北省考古工作者在湖北江陵发掘了三座战国时期的中型楚墓，越王勾践剑就出土于编号为望山一号的楚墓中。

越王勾践剑为青铜制成，X射线荧光无损分析结果表明，其主要成分是铜和锡，铅的含量较少，其他元素都是微量的。该剑剑格上的纹饰为铸造而成的阴纹，剑格两面的纹饰大致相同，一面用绿松石镶嵌，镶嵌得十分紧密而平整，显示出高超的工艺水平，至今仍然保存完好；另一面的花纹凹槽内仅存有玻璃两块，其中一块为残损件。玻璃呈浅蓝色、半透明，形状不同：一块呈球冠形，底径约5 mm；一块呈烟斗形（一端残），通长约6 mm。它们均被一种灰白色的物质黏结在剑格上的花纹凹槽内，玻璃四周与花纹凹槽边缘之间存在着一定的空隙。与镶嵌绿松石一面相比较，有玻璃一面无论是制作工艺及制作水平都存在着较大的差别，可能是不同的工匠在不同的时期分别制成的。

需要指出的是，江陵望山一号楚墓是经过科学发掘的一座未被盗掘的墓葬，考古发掘清理工作进行得十分细致和彻底，不存在任何细小器物遗漏的可能性，所以该剑剑格上只有两块玻璃的情况说明了该剑下葬时剑格上只有这两块玻璃，而从剑格（一个面）上的花纹来看，至少应该有8块玻璃。还需要指出的是，该剑出土时位于棺内墓主人的身边，并插在木质的漆剑鞘中。

2）越王勾践剑在楚墓中出土的原因探究

楚人尚武，喜爱佩剑，“带长铗之陆离兮，冠切云之崔嵬”。（《楚辞·九章·涉江》）“长铗”，就是长剑，所以在楚墓的考古发掘中常常有青铜剑出土。在楚墓出土的众多青铜剑中，带有越王、吴王等铭文的吴越名剑特别惹人注目。仅就越王剑来说，已有数例，除越王勾践剑之外，还有江陵藤店一号楚墓出土的越王州句剑、江陵张家山楚墓出土的越王盲姑剑、湖北秭归县出土的另一把越王州句剑、1988年江陵郢都北郊出土的越王者旨于剑（又名越王鹿郢剑）。据《长江日报》1988年9月19日报道，越王鹿郢是越王勾践之子、越王盲姑之父、越王州句之祖父。连续四代越王的青铜剑都在江陵纪南城附近的楚墓中发现，这对研究越王剑为什么会流传楚国这个问题提供了直接的证据。

望山、藤店、张家山这三座出土越王剑的楚墓，其年代均为战国中期，其规模是：望山、藤店为中型楚墓，张家山为小型楚墓。对于越王剑在楚墓中出土的原因，历来说法多种，然而鉴于下述几点理由，可以认为它们是作为楚人的战利品被葬入楚墓中的。

（1）望山一号楚墓出土竹简的“祷辞”中记有楚简王、楚声王、楚悼王三个楚王的名字，所以该墓的年代定为楚威王后期或楚怀王前期[1]。司马迁《史记·越王勾践世家》记载：

"楚威王兴兵而伐之，大败越，杀王无强，尽取故吴地至浙江，北破齐于徐州。而越以此散，诸侯子争立，或为王，或为君，滨于江南海上，服朝于楚。"关于楚国灭亡越国的时间，学术界并未最后定论，有楚威王时期说和楚怀王时期说，不管哪一种说法更符合历史实际，楚威王时"大败越，杀王无强，尽取故吴地至浙江"，这一点是毋庸置疑的。既然楚军攻占了越国的腹地，杀了越王，掠取越国的珍贵物品（包括越王剑）就是理所当然的事了。楚墓中出土的实物与史料中的记载在时间上是十分吻合的。司马迁是西汉时期的人，离楚威王大败越只有100余年的时间，他的记载大概不会有重大的差错。

（2）联系到湖北襄阳、江陵等地出土吴王夫差剑、吴王夫差矛（该矛出土于江陵马山一座小型楚墓中）的事实，它们极有可能是越灭吴（公元前473年越王勾践灭了吴国，吴国的珍宝——包括吴王剑、吴王矛等当然为越国所有）、楚又大败越之后作为战利品带到楚国来的。从价值的观点来看，只有作为战利品，这些越王、吴王用的珍贵兵器才有可能为身份较低的人们所获得。正因如此，它们才有可能在小型楚墓中出土。

（3）江陵藤店一号楚墓中只出土有两柄青铜剑。越王州句剑出土时放在墓室的头箱，与甲胄在一起。将它与甲胄放在一起，表明它与甲胄都是墓主人生前用的武器或是显示墓主人的战功，说明它可能就是墓主人生前的战利品。该墓简报的作者也做了类似的推测[2]。

（4）春秋战国时期，吴越之地铸剑技术之精早已闻名于世，特别是对吴越名剑，楚人是十分想得到的。《吴越春秋·阖闾内传》记载："湛卢之剑恶阖闾之无道也，乃出而去，水行如楚。楚昭王卧而寤，得吴湛卢之剑于床。"该剑原产于越国，同书记载："臣闻吴王得越所献宝剑三枚，一曰鱼肠、二曰磐郢、三曰湛卢。"《越绝书》卷十一记载："楚王召风胡子而问之，曰：寡人闻吴有干将，越有欧冶子"，"寡人愿赍邦之重宝以奉子，因吴王请此二人作铁剑，可乎？"楚王做梦都想得到吴越名剑，并不惜"赍邦之重宝"请吴越名师作剑，可见楚人对吴越名剑的重视和想获取的急切心情。在楚人打败越的过程中，楚人千方百计地去夺取这些吴越名剑是理所当然的。可以预计，在今后的考古发掘中还会有吴越名剑在楚墓中出土。

3）越王勾践剑剑格上两块玻璃的有关问题

（1）制造工艺。在放大的条件下观察越王勾践剑剑格上的两块玻璃，可以清晰地看到它们内部有圆形和椭圆形的气泡。据此推测，两块玻璃的制造工艺为：

① 制作一个与剑格花纹相同的泥范并烘干备用。

② 将熔融的玻璃料取出一定量之后，圆形的纹饰可直接滴入玻璃料，因玻璃料的黏度较大，冷却后呈球冠形；呈烟斗形的纹饰可以一边向泥范内滴入玻璃料一边进行拉伸，使玻璃料充满一段花纹的凹槽。虽然拉伸的力量很小，玻璃内部原已存在的较大的圆形气泡则在拉力的作用下变成了椭圆形。

③ 冷却后除去泥范。将制好的玻璃用黏合剂黏合在剑格上的花纹内。

（2）产地。越王勾践剑剑格上的这两块玻璃会不会是当时西方输入的产品？或者是西方输入的玻璃经过加工或重新熔化后制成的呢？以下几点理由说明这些均不可能。

① 越王勾践在位之年为公元前497年—公元前465年，属于公元前5世纪早期，萌芽时

期的“玻璃之路”是没有能力将越王勾践剑剑格上的花纹图样送到西方、在西方按图样制成玻璃镶嵌物之后再运回越国的。因此这两块玻璃应是在中国制成的。

② 由于这两块玻璃内部都有气泡，并且又很细小，加上玻璃的特征是又硬又脆，试图采用西方输入的玻璃品通过加工制成剑格上纹饰的形状，在技术上也是难以办到的。况且在这两块玻璃的表面也看不到任何一点加工的痕迹存在。

③ 本章前面已经指出，除河南固始侯古堆一号墓之外，在吴越的墓葬中几乎未见有玻璃品出土，苏州真山吴王墓中出土的菱形蓝色料珠可能也是釉砂，并且有可能是从中原输入的物品。因此春秋时期吴越之地还不拥有西方输入的玻璃品，同时也不拥有玻璃制造技术，又怎么能采用西方输入的玻璃为原料、通过重新熔化或加工来制成青铜剑上的装饰物呢？

④ 剑是一种兵器，这把作为勾践“自作用剑”的青铜剑，主要应该是用于防身和战斗，而黏结有玻璃饰物的青铜剑一般说来是不能用于实战的。一方面是玻璃性脆，遇到较大的震动时容易破碎；另一方面是这两块玻璃被粘在剑格花纹的凹槽内，牢固程度差，遇到较大的震动时容易脱落。而剑格另一面的绿松石是被镶嵌在花纹凹槽内（其底部可能也进行了黏结），牢固程度高，所以不易脱落。因此，可以认为，即使当时的越国能够生产玻璃，也不会用这种方法来装饰勾践用的青铜剑，戎马一生的越王勾践也不可能用这种青铜剑作自己的佩剑。

（3）该两块玻璃系楚人制作。越王勾践剑剑格上的两块玻璃是哪里来的呢？它们应该是战国中期楚人所制作的。其理由如下：

①《楚辞·九歌·东皇太一》中有“抚长剑兮玉珥”的名句，剑珥可以用玉来做，也可以用玉的代用品玻璃来做，剑珥位于剑的重心部位，佩剑时正在腰部，故抚摸剑时，往往先摸到剑珥。从目前所了解到的有关考古资料来看，用玻璃作青铜剑的装饰，当为战国时期的楚国首创。玻璃剑珥、玻璃剑首、玻璃剑珌等玻璃剑饰，除长沙之外在其他地区是十分罕见的，也证明了这一点。所以说楚人用玻璃来装饰剑格上的花纹是有其传统的。

② 江陵望山楚墓的年代为战国中期，具体年代为公元前329年前后，正值楚国玻璃制造兴起的时期。在这一时期，楚人已经生产了不少玻璃制品，完全有技术、有能力制造出勾践剑剑格上的玻璃。

③ 该剑剑格的另一面镶嵌着绿松石，工艺水平较高。因剑格两面的花纹相近似，推测黏结有玻璃的一面原来也应该是镶嵌着绿松石的。只是因为该剑是楚人的战利品，在楚人夺取它的过程中，某种原因使这一面镶嵌的绿松石被破坏了。为了保持其美观，该剑后来的主人就试用当时楚国新出现不久的玻璃作花纹装饰。

④ 望山一号楚墓主人的身份为大夫级，据该墓出土的竹简记载，他生前曾“出入侍王”，是楚王的亲信，地位是比较高的。他将越王勾践剑作为陪葬品放在身边，目的是显示他的地位和功劳，与江陵藤店一号楚墓中出土越王州句剑的含义在某一方面有些相似。也就是说：望山一号楚墓的主人不是将越王勾践剑作为一件实用的武器看待（这与勾践当时制造该剑时的目的不相同），而是作为一件显示自身地位和功劳的物品看待。因此，他采用玻璃来装饰剑格上的花纹就是合情合理的事了。

9.1.1.2 吴王夫差剑上的三块玻璃

吴王夫差剑出土于河南辉县南部的战国墓中，夫差剑剑格上镶有三块玻璃。据崔墨林[3]撰文介绍，这几块玻璃的透明度较高，为钙硅酸盐玻璃制成，熔化时铜离子着色。并认为该剑可能是“黄池”会盟时吴王送给卫国的。可见，夫差剑上的玻璃与勾践剑上的玻璃至少有下列三点相同之处：

（1）都是作为剑格上的装饰；

（2）相对于当时一般的玻璃品来说，都是透明度较好的玻璃；

（3）都是呈蓝色或淡蓝色的玻璃（因为夫差剑上的玻璃为铜离子着色，当为蓝色无疑）。

据《中国文物报》1996年2月4日刊载的英夫《吴王夫差剑集录》一文介绍，传1935年安徽寿县西门内出土，或云河南辉县出土的吴王夫差剑，现藏中国国家博物馆，通长为58.9 cm，腹部有“攻吴王夫差，自作其元用”2行10字。剑格饰简化兽面纹，并嵌有绿松石。可见，吴王夫差剑与越王勾践剑一样，原来应是镶嵌绿松石的。鉴于上述有关越王勾践剑上玻璃的讨论，辉县出土的吴王夫差剑上的三块玻璃也应为战国时期的人们所制作，不可能是春秋时期的吴国或越国制造的。

9.1.2 公元前5—公元前4世纪楚国玻璃的兴起

近几十年来在湖北、湖南、河南、安徽等地发掘的楚墓已有数千座之多，其中春秋时期的楚墓也占有一部分，但是至今尚未见到真正的玻璃品出自春秋时期的楚墓中。到了战国时期，特别是战国中期前后楚墓及晚期楚墓中，出土玻璃品的数量突然多了起来，例如长沙地区就有100多座楚墓中出土有玻璃品。此外，已经论述过的河南淅川县下寺楚墓，时代为春秋中晚期，其中2号墓的年代为公元前554年或稍晚，该墓群中只有釉砂出土，而没有见到玻璃珠；然而在同一地区发掘的河南淅川县徐家岭楚墓（时代为战国早期）中即出土了几十颗蜻蜓眼玻璃珠。时代为公元前433年或稍晚几年（属于战国早期墓葬）的湖北随县曾侯乙墓中出土了173颗蜻蜓眼玻璃珠。这些发掘情况表明，在公元前5—公元前4世纪，楚国的玻璃生产得以兴起，并且有了一定程度的发展。出现这一历史现象的原因是什么呢？现从技术与社会需求的角度，试就以下几点进行论述。

1）楚人已经掌握了早期的玻璃制造技术

河南淅川县下寺楚墓出土的釉砂，为春秋中期偏晚的遗物，它们的出土表明了最迟在春秋中期楚人就已经掌握了采用石英砂为主要原料，使用先成型后烧结的方法生产釉砂。当然，楚国的这一技术极有可能是从西周王朝那里学来的。楚国曾是西周王朝的属国之一，与西周王朝有着密切的联系，楚国从那里学习到这一技术是十分可能的。这种方法与战国中期时楚国制造外形类似蜻蜓眼玻璃珠或釉砂珠的方法基本上是相同的。楚墓中出土的玻璃品，如珠、管等小型器物，其中有一部分就是采用先成型后烧结的方法制造出来的，只是由于所采用的原料有差别以及烧制它们的温度高低不完全相同，有一部分烧成了釉砂珠（管），也有一些烧成了一部分或大部分为玻璃质、另一部分或少部分仍是烧结的砂粒的玻砂珠（管）。如湖北随县曾侯乙墓出土的E.C.11.240号绿色料珠，X射线衍射分析结果表明它的局部是结晶态，化学全分析的组分总量约为80%，所以当时没有制造出真正意义上的玻璃制品来，但

是对于其基本制造技术楚人是早已掌握了的。这就是公元前5—公元前4世纪楚国玻璃兴起的原因之一,而且是重要的内部原因之一。

2）西方玻璃制品的传入

（1）关于夫差夫人墓出土玻璃珠的讨论。1978年,考古工作者在河南省固始县侯古堆发掘出一座春秋末年的墓葬,编号为侯古堆一号墓。该墓是一座较大型的墓葬,除出土了大批文物之外,还发现了有17个人为墓主人殉葬的现象,足以说明该墓主人的高贵身份。据该墓出土的墓主人的骨骼以及出土文物上的有关铭文考证,该墓为春秋末年宋国国君宋景公的妹妹、当时吴国的太子夫差(即后来成为吴国国君的吴王夫差)的夫人之墓。据《史记·吴太伯世家》记载:吴国阖闾“十一年,吴王使太子夫差伐楚,取番。楚恐而去郢徙若”。这说明在春秋末年,吴国的太子夫差曾统兵攻打楚国,并攻占了楚国的番地。今天的河南省固始县正是春秋时期番国(番国在春秋中期之前已为楚所灭)的所在地,番国故城遗址至今犹存。番是楚庄王时楚国的令尹孙叔敖的封地,是楚国的重镇之一。因在公元前506年,伍子胥率领吴军一举攻占了楚国的都城郢,迫使楚昭王出奔。公元前505年楚军在秦军的帮助下才击退吴军,恢复郢都。所以公元前504年吴军攻占番地之后,楚国十分恐慌,立即准备迁都,所谓“去郢徙若”是也。夫差的夫人随夫出征,当吴军占领番地之后她突然暴病而亡,可能是由于当时正处在战争时期,局势动荡,只好将她就地予以厚葬,以17人殉葬就是证明。该墓的内棺中出土有几颗蜻蜓眼玻璃珠,据张福康等检测,其化学组成为钠钙玻璃,Na_2O的含量达10.94%、CaO的含量达9.42%,其他成分见表9.1。

表9.1　西周墓葬、楚墓及属楚文化范畴的墓葬中出土玻璃制品的化学成分　（%）

序号	名　称	出土地点	年代	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	PbO	BaO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	CuO
1	琉璃珠	陕西沣西	西周	94	0.7	0.4			0.4	0.2	0.3	0.3	0.8
2	琉璃珠	河南洛阳	西周	>90	0.3	0.2			0.4	0.3	3.4	1.2	1.6
3	琉璃管	河南洛阳	西周	大量		0.33	0.23		0.35	0.15	1.30	0.64	1.20
4	琉璃珠珠芯(白色)	河南淅川下寺楚墓	春秋中晚期	94.11					0.18	0.06	1.19	0.44	
5	琉璃珠珠皮(绿色)	河南淅川下寺楚墓	春秋中晚期	>90			<0.01		0.30	0.11	3.20	0.86	
6	蜻蜓眼玻璃珠	河南固始侯古堆	春秋末年			0.65			9.42	0.39	0.52	10.94	
7	绿色料珠	湖北随县曾侯乙墓	战国早期	56.1	1.37	1.02	2.80	0.05	4.07	2.24	2.60	6.99	0.37
8	料珠眼	江陵九店M286	战国中期晚段	50.2	4.92	1.60		0.50	4.19	1.03		5.24	
9	料珠外壳	江陵九店M286	战国中期晚段	50.1	2.80	1.55		1.56	4.25	1.24		4.80	

（续表）

序号	名　称	出土地点	年代	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	PbO	BaO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	CuO
10	料珠白砂	江陵九店M286	战国中期晚段	56.9	3.37	0.71	0.11	0.07	3.90	1.60		1.34	
11	料管外壳	江陵九店M533	战国中期晚段	40.5	1.07	0.97		0.05	2.30	0.37		1.09	
12	料管白砂	江陵九店M533	战国中期晚段	45.8	4.57	1.41		0.10	2.50	0.67		2.00	
13	浅绿色谷纹璧	64长沙长下物M22	战国	37.16	0.32	0.16	39.8	13.4	1.95	0.40	0.27	3.32	0.03
14	深绿色谷纹璧	56长沙长卫M22	战国	38.3	1.67	0.32	41.53	10.37	2.75	0.41	0.34	3.07	0.73
15	白色云纹璧	53衡阳铁M3	战国	36.57	0.64	0.15	44.71	10.1	2.1	0.21	0.1	3.72	0.02
16	白玻璃片	长沙楚墓	战国	39.0	0.9	0.2	28.3	大量	0.73	0.14	0.09	0.64	0.02
17	蓝玻璃珠	长沙楚墓	战国			1.4	0.6		0.6	0.2	15.2	0.8	0.3
18	料璧	长沙	战国	34.69		1.06	37.24	10.36	9.62	0.54		5.2	

这几件玻璃珠，无论是化学成分还是外形纹饰都与西方同类产品十分相似，理应是由西方传入的。镶嵌玻璃珠（蜻蜓眼玻璃珠）在世界许多地方都有发现，与中国早期镶嵌珠相似的珠子在公元前1000年左右的西亚很流行[14]。这些传入的西方玻璃珠在当时是十分珍贵的，所以被夫差作为随葬品为其夫人陪葬。对于它们的来历有两种推测：一种是从西方通过辗转的历程传到吴地，成为夫差夫人的财物，她死后也随之带入墓中；另一种是吴军占领番地时从楚人手中刚刚夺来的战利品，因为是一种珍贵的装饰品，所以成了占领军主帅夫人的财物。从考古发掘的有关资料来看，后者的可能性要大得多。

春秋战国时期的吴、越之地，濒临大海，通过萌芽时期的"玻璃之路"，具有获得西方玻璃品的可能性。然而据后德俊掌握的资料，目前通过考古发掘出土的玻璃品，与吴越有关者仅有三例。除侯古堆一号墓之外，另两例即前文提到的江陵望山楚墓出土越王勾践剑剑格上的玻璃、河南辉县一带战国墓中出土吴王夫差剑剑格上的玻璃。前面提到，越王勾践剑上的玻璃可能是战国时期的楚人所为。特别要指出的是，出土蜻蜓眼玻璃珠的墓葬仅此一座，而且恰恰是埋葬在刚被吴人攻占的楚国疆土番地之内。比较合理的解释是：河南固始侯古堆一号墓也同时出土了一组"番子成周钟"，此"番子成周"可能就是《左传·定公四年》中所记载的"潘子臣"。公元前504年，潘子臣作为楚军的主帅与夫差作战，败，为吴人所俘。"番子成周钟"也成了战利品为夫差的夫人陪葬。所以说侯古堆一号墓中所出土的蜻蜓眼玻璃珠，应是从西方输入的产品，而且是传到了楚国，成为楚人的财物。吴人攻占番地时夺取了它们，因为铜钟和玻璃珠在当时都比较珍贵，因此用来给统帅的夫人陪葬。

西方生产的蜻蜓眼玻璃珠辗转传到楚国，其数量可能是比较少的。同时，由于是辗转式

的交流，关于玻璃的制造技术、原料的选用等，一般说来是很难随之一道传入的。爱好新奇的楚人看到了这种比自己原已生产的釉砂具有更加美丽外观的珠子，想必十分喜爱，为了能更多地获得这种珠子，楚人采用烧制釉砂的工艺，并在烧制过程中试用不同的矿物为原料来仿制。可见，西方玻璃品的传入是公元前5—公元前4世纪楚国玻璃兴起的一个重要的外部原因。

（2）楚人仿制西方蜻蜓眼玻璃珠的实物证据。1986年开始的湖北荆沙铁路考古发掘中，在江陵秦家嘴战国中期前后的楚墓内发掘出蜻蜓眼玻璃珠数枚（图9.2），其外形与河南固始侯古堆夫差夫人墓中出土的玻璃珠基本相同。仔细观察可以发现，这些蜻蜓眼玻璃珠的表面虽然已经烧成了玻璃质，但其内部仍然是烧结在一起的砂粒，与西方的"釉砂"珠更相近一些。特别重要的是，这些玻璃珠穿孔处仍然保留有已经烧结的黄泥芯，证明这些玻璃珠是在江陵当地制造的，而且是烧制后很快就埋藏到墓里了。江陵望山楚墓（时代为战国中期）还出土有蜻蜓眼釉陶珠，其珠体上的花纹表面已经被烧成了玻璃质，但其胎体仍然是烧结在一起的陶胎。说明当时楚国所采用的仿制西方玻璃珠的方法是多种多样的。1996年发掘的湖北荆门罗坡岗楚墓群，出土有几颗直径为4~5 cm的釉砂珠，出土时已经破碎，其内部均为细沙粒，表面是一层已被烧成玻璃质、较坚硬的外壳，外壳上分布着数个"蜻蜓眼"，"蜻蜓眼"上有绿、白、棕等色花纹，成分分析表明含有较多的氧化铅和氧化钡，应是中国制造的产品，出土该类釉砂珠的楚墓的年代最迟不晚于战国中期。





图9.2　湖北江陵秦家嘴出土的蜻蜓眼玻璃珠（釉砂）（战国）
(a) 玻璃珠穿孔处泥芯；(b) 玻璃珠残片外观

9.1.3　楚国玻璃的制造技术

9.1.3.1　化学成分

化学成分是研究古代玻璃不可缺少的基本数据。不了解它们，对于古代玻璃的原料组成、制造工艺及有关性质等就无法进行研究。近年来，国内外的一些学者对中国古代玻璃的近百个样品进行过分析测定，得出了一批结果，对中国古代玻璃的研究起了很好的作用。其中包括一批楚墓或受楚文化影响的墓葬中出土玻璃品的有关数据。需要指出的是：楚墓中出土的玻璃品，经过分析测定的大都是湖南长沙一带出土的器物（成分可参见本书第3章），湖北及其他地区楚墓出土的玻璃品进行分析测定的很少，可能是因为这些地区出土玻璃品数量较少、同时又是完整器物等原因造成的。表9.1列出了部分出土玻璃品的化学成分。西周墓与下寺楚墓出土的釉砂也一并列入[13,15-17]。

（1）从表9.1中可以看出，时代为公元前6世纪中叶及下半叶的河南淅川下寺楚墓出土的釉砂，其化学成分与陕西、河南西周墓中出土的釉砂的化学成分相似，表明楚人制造釉砂的技术是从西周人那里学来的。令人感兴趣的是，河南洛阳西周墓和淅川下寺楚墓出土的釉砂中，都含有一定量的K_2O，而MgO、Na_2O、CaO的含量相当少，表明钾的来源不可能是采用了草木灰的水溶液（或浓缩液）作黏合剂之一造成的，而是直接使用硝石为原料制造的。

（2）从表9.1所列数据可以看出，楚墓及受楚文化影响的墓葬中出土的玻璃可分为4种类型：

① SiO_2–PbO–BaO类型，如表9.1中的19~22号；

② SiO_2–PbO–BaO–Na_2O类型，如表9.1中的13~16号；

③ SiO_2–K_2O类型，如表9.1中的17号；

④ SiO_2–Na_2O–CaO类型，如表9.1中的6号。

从化学成分上看，楚墓及受楚文化影响的墓葬中出土的玻璃制品，均属于硅酸盐玻璃的范畴。仅从PbO、BaO的含量来看，上述第二种类型玻璃可以与第一种类型合并，这类玻璃又称为铅钡玻璃，是中国古代玻璃制品中最富有特色的一种。R. H. Brill等[9]分析了几十件中国古代的玻璃品，他们在《一批早期中国玻璃的化学分析》一文中指出："从化学上来分析，对早期中国玻璃最感兴趣的是这些都含有高的氧化铅和氧化钡。这些玻璃已引起一些学者的注意。"毫无疑问，这些玻璃是在中国制造的，因为19世纪以前在世界其他地方完全不知道这类组成。而西方含大量PbO的古代玻璃，从没有发现这样高的BaO含量[10]。

（3）表9.1中第6号玻璃品，即河南固始侯古堆夫差夫人墓中出土的蜻蜓眼玻璃珠，是属于SiO_2–Na_2O–CaO类型的玻璃。前文已经指出，该玻璃珠无论是外形还是化学成分都与西方古代玻璃品基本相同，应为西方输入的产品。表9.2为公元前1350年古埃及深青色（不透明）玻璃的化学成分。

表9.2　公元前1350年古埃及深青色（不透明）玻璃的化学成分　（%）

SiO_2	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	CuO	Al_2O_3+Fe_2O_3
61.70	0.47	10.05	5.14	1.58	7.63	0.32	3.20

可以看出，西方古代玻璃品的特点之一是化学成分中Na_2O、CaO的含量高，所以称之为钠钙玻璃。夫差夫人墓出土的蜻蜓眼玻璃珠中，Na_2O的含量达10.94%、CaO的含量达9.42%，与楚墓及受楚文化影响的墓葬中出土的中国自己生产的玻璃品的化学成分完全不同，应是西方输入的产品。

（4）关于曾侯乙墓出土料珠的讨论。表9.1中所列的7号为湖北随县曾侯乙墓出土的绿色料珠。原报告者认为，这件料珠"从化学成分上看，除SiO_2外就是Ca和Na为主，几乎不含Ba、Pb。阿拉伯产的料器，Ca和Na是其主要成分，中国产料器则是以Ba、Pb为主要成分。从这点可以认为它是阿拉伯产的料器"。这是值得商榷的：

曾侯乙墓出土的蜻蜓眼玻璃珠，最早曾对其少量样品采用X射线荧光分析法做过定性测定，结果表明含有大量的SiO_2及较多的K、Ca等成分，而Pb、Ba的含量很少，属钾钙玻璃[11]。分析结果不同，其原因很可能是分析的样品不同造成的。曾侯乙墓出土的绿色料珠是中国自己生产的产品，理由有下列4点：

① 曾侯乙墓出土的绿色料珠的化学成分中，Na_2O和CaO的含量与早期西方玻璃品的化学成分相比较要低，另外它还含有2.60%的K_2O和2.80%的PbO，与西方早期钠钙玻璃的化学成分差别明显。因为，西方早期的玻璃中一般是不含有K的，而采用含K的草木灰为原料制造玻璃则是中世纪的事了。在中国的早期玻璃中，含有K的玻璃已有出土，如表9.1中的第17号。同时在中国的早期玻璃中也发现了含有Na、Ca的例子，如表9.1中的第18号料璧，是中国春秋战国时期的典型器形，其化学成分中除含有较多的SiO_2、PbO、BaO之外，Na_2O和CaO的含量分别为5.2%和9.62%。

②《淮南子·览冥训》中多次提到"随侯之珠"；东汉王充《论衡·率性篇》中也有"随侯以药作珠，精要如真""道人消炼五石，作五色之玉"的记载。曾侯乙墓的墓主人是一个叫做"乙"的曾国的国君，据考证，"曾"就是"随"，曾国就是随国，因此曾侯就是随侯。出土有100多颗蜻蜓眼玻璃珠的曾侯乙墓的墓主人曾侯乙就是一个"随侯"，与古代文献中关于"随侯之珠""随侯以药作珠"的记载是吻合的。

③ 曾侯乙墓中除出土有100多颗玻璃珠之外，还出土有紫晶珠、陶珠等，其中有陶珠38颗，与玻璃珠一起出土于内棺中，表明它们和玻璃珠一起是曾侯乙所用的装饰品。其中编号为E.C.11.276-2的陶珠，绿色，灰白胎，火候较高，肉眼观察可见烧结致密，似已瓷化，比一般的釉砂珠结实得多，应是采用瓷土为原料先成型后烧制的，该陶珠的中间"品"字形排列着3个湖蓝色的凸起状圆点，已玻璃化，表明该珠具有较简单的"蜻蜓眼"形式。该珠应为楚国制造的产品无疑，所以上述该墓出土的绿色料珠也应是楚国的产品。当然我们也不排除曾侯乙墓中出土的玻璃珠中包括有西方传入的玻璃品的可能，因为我们无法对每一枚出土的料珠都作一次分析。

④ 1996年7月，在湖北省博物馆的支持下，对曾侯乙墓出土的4颗保存完好的"蜻蜓眼"式料珠做了密度测定，它们的编号是E.C.11.259、E.C.11.179、E.C.11.135及E.C.11.207，后两颗料珠因外形相同是一起进行测量的。测量时尽量考虑到误差的存在，得出它们的密度依次为2.2~2.4 g/cm^3、2.1~2.24 g/cm^3、2.2~2.3 g/cm^3，完全都在钾玻璃的范围之内，与前面已述的分析结果一致，也与湖南长沙楚墓中出土的钾玻璃相呼应。楚人在战国时期可能已经使用了硝石，湖南长沙马王堆汉墓出土的帛书上记载有"消石"也证明了这一点。这种钾玻璃极有可能是楚人的一种创造。

（5）湖北江陵九店出土的玻璃制品也存在着类似的情况。据《江陵九店东周墓》[12]一书介绍，该墓群出土料器243件，除去12件陶珠和23件陶管外，还有玻璃珠38件（其中素面珠23件，花纹珠15件）、玻璃管144件（其中素面管142件，花纹管2件）、陶胎琉璃珠（表层为玻璃质，"蜻蜓眼"形式，胎为烧结的砂粒，正确的描述应是釉砂珠）26件。需要指出的是：出土的玻璃珠和玻璃管都是玻璃质，其中花纹珠和花纹管均为"蜻蜓眼"形式，因为是完整器，没有进行化学分析。原来认为它们之中可能有西方输入的产品，如编号为703：1的玻璃

花纹管（时代为战国晚期）（图9.3），深蓝色，椭圆形体，管上饰9个高凸的"蜻蜓眼"，眼上有白蓝相间的圆圈纹5圈，旁边双衬托9个单圈小"蜻蜓眼"，造型华丽、典雅，在楚墓出土的玻璃器中这种形制的器物十分少见，可能是西方输入的产品，但不能肯定。后德俊曾对其密度进行了测量，结果发现它属于铅钡玻璃。由此可以认为，该墓群出土的26件釉砂珠和大部分玻璃器都应该是中国自己的产品。理由如下：



图9.3　湖北江陵九店出土的蓝白双色角锥状"蜻蜓眼"镶嵌的深蓝色玻璃管（战国晚期）

① 出土的26件陶胎琉璃珠（应是釉砂珠），器表为一层绿色的玻璃质，扁圆体，中间穿孔，珠体表面均饰凸起的蓝白色或深绿色圆圈纹，为"蜻蜓眼"式，质地疏松，多残碎。可见，这种釉砂珠质地疏松、强度差，容易破碎，如是西方的产品，千里迢迢运来楚国是不太可能的。江陵秦家嘴战国中晚期楚墓中就出土过这类釉砂珠，"蜻蜓眼"形式，表面是一层玻璃质，内部是烧结的砂粒，出土时珠体穿孔处还保留有烧结的痕迹，说明该珠制成后立即就被随葬了，当然应该是当地制造的产品。由此证明，战国时期楚国已经能够生产这类玻璃品，所以这26件琉璃珠是楚人仿制的产品，而不是从西方输入的。

② 所分析的该墓群出土玻璃样品是后德俊经手的，由于仪器分析手段的限制，多数样品的PbO含量未作分析，所以分析结果的总量只有50%~70%，并不表示样品中不含有铅。此外，时代为战国中期的M286出土釉砂珠外壳的化学成分中BaO的含量达1.5%，在当时的西方玻璃珠中是十分罕见的，说明该珠应是中国自己生产的产品。

③ 另外，从化学分析结果（表9.1）中可以看到，江陵九店楚墓出土玻璃品中Na_2O、CaO（其中一个样品的Na_2O含量除外）的含量均在5%左右或以下，比西方生产的玻璃品中Na_2O、CaO的含量要少得多，有些要少1倍以上，而与楚墓中出土的一些铅钡玻璃中的Na_2O、CaO的含量相近，如湖南长沙楚墓出土的一块玻璃璧，是中国春秋战国时期的典型器物，属国产玻璃制品无疑，其中PbO、BaO的含量分别为41.53%、10.37%，Na_2O、CaO的含量分别为3.07%、2.75%（表9.1）。特别是九店楚墓群出土的玻璃管，其Na_2O、CaO的含量分别为1.1%~2.0%、2.3%~2.5%，与当时的西方玻璃品的化学成分中Na_2O、CaO的含量相差几倍，如已经确定为西方输入的蜻蜓眼玻璃珠（河南固始侯古堆出土）的化学成分中Na_2O、CaO的含量分别为10.94%、9.42%。

④ 江陵九店东周墓，大部分都是小型墓葬，墓主人地位不高。如出土有1颗玻璃珠、2颗玻璃管的第703号墓就是一座小型墓，墓口长302 cm、宽175~194 cm；墓底长296 cm、宽144~158 cm。墓中出土11件器物，除玻璃珠、管外，还有铜带钩1件、铜环1件、陶器6件。这类地位不高的人们在当时一般是用不起从西方输入的珍贵玻璃器来陪葬的。

⑤ 九店楚墓出土的M410：19号彩色玻璃珠，"蜻蜓眼"形式，其密度约为3.51 g/cm^3。M703：1号彩色玻璃管，"蜻蜓眼"形式，其密度约为3.76 g/cm^3。史美光[13]指出："一般钾硅

玻璃的密度为2.33~2.41 g/cm^3，一般古代钠钙玻璃密度为2.50 g/cm^{3}左右。”他们测量的一批中国自己生产的战国时期、汉代及唐宋时期的铅钡玻璃制品的密度，都在3.25 g/cm^{3}以上，有的高达5.3 g/cm^3。所以江陵九店出土的这2件玻璃制品应属于铅钡玻璃，当然是中国自己制造的产品。

⑥ 九店楚墓出土的玻璃管，湖蓝色，从外至内可视为三层：最外一层是湖蓝色的玻璃层，厚度为0.5~1 mm，有的管壁厚度在1 mm以上；中间是烧结的灰白色的细砂粒层，厚度在1 mm左右；最里层是黄色黏土层，原来是管芯的黏土去除后留下的部分，与江陵秦家嘴楚墓出土的带泥芯的料珠内的黏土颜色几乎相同。经测量，8颗湖蓝色玻璃管共重8.634 8 g，体积为3.8~4 cm^3，则其密度为2.16~2.27 g/cm^3，与其化学成分是相符的。

刘保昌[14]认为，九店出土的26件陶胎蜻蜓眼玻璃珠是西方的产品，是从西方输入的，其看法是值得商榷的。在古代玻璃的研究中，存在着一种模糊的认识，似乎认为只要是化学成分中含有一定量的Na_2O和CaO的玻璃必定是西方输入的产品，而没有具体问题具体分析。至于在战国时期，中国生产的蜻蜓眼玻璃珠中Na_2O、CaO的来源，可能是因为当时的人们使用了硝石一类矿物造成的。但是战国时期的人们对硝石的种类区别不清，往往将硝石（钾硝石）、芒硝（钠硝石，有时含有较多的钙化合物）等混淆在一起。

9.1.3.2 原料

现代日常生活中使用的玻璃，一般都属于钠钙玻璃，它是以石英砂、纯碱、长石及石灰石等为主要原料制成。古代埃及和西方一些古代文明地区制造玻璃所用的原料主要是石英砂和天然纯碱（主要成分为Na_2CO_3）等物质。战国时期的楚人制造玻璃品的主要目的之一，是为了获得比较廉价、易于成型的近似于玉石制品的器物。由此可见，当时楚人制造玻璃所采用的原料，当然是和玉石类材料的外观相近似而又比较容易获得的某些矿物，这一点应是肯定的，因为西周时期的人们和春秋时期的楚人以石英砂为原料烧制釉砂就是出于这一原因。

春秋晚期至战国时期，随着西方玻璃制品传入楚国，楚人看到了外观美丽、色彩鲜艳的蜻蜓眼玻璃珠（与楚人原来已经会生产的釉砂相比较而言）时，想必会十分喜爱的。同时，由于这些西方传入的玻璃品是千里迢迢、辗转传入楚国的，不仅数量十分稀少，而且其制造技术在当时也是无法传到楚国的。楚国的工匠们在仿制西方的蜻蜓眼玻璃珠时，只能采用自己已经掌握的制造釉砂的技术进行，所采用的原料当然也就多种多样，所以楚墓中出土玻璃品的化学成分也就互有差别了。战国时期楚人用于制造玻璃的原料主要有以下几种。

1）石英砂

石英砂是一种分布很广的矿物砂粒，主要成分为SiO_2，熔点1 670℃（鳞石英）、1 710℃（方石英）。表面带有玻璃光泽，常呈半透明或不透明状。制造玻璃常用的是白色的石英砂。

2）方铅矿

方铅矿是铅矿的一种，主要成分是PbS，表面有金属光泽，铅灰色，性脆。楚国产铅，《史记·货殖列传》记载：“长沙出连、锡。”“连”，可能就是指的铅。楚墓中常有铅锡合金器物出土，说明楚国用铅的时间较早。

3）重晶石

重晶石是白色或灰色的矿物，有时带有天蓝、粉红等色，常呈粗粒致密的块状，带有玻璃的光泽，性脆。其主要成分是$BaSO_4$。楚国制造的铅钡玻璃中钡的来源，就是因为楚国工匠们使用了重晶石为原料。白色的重晶石粉具有与白色的石英砂相近似的外观，所以被楚人用于玻璃制造。楚国拥有丰富的重晶石资源，湖北、湖南两省的许多地区都有重晶石矿。例如现在的湖北省谷城县（战国时期是楚国的中心区域之一）的重晶石粉厂所生产的就是重晶石粉、硅石等产品。

赵匡华[15]认为，楚国的铅钡玻璃是采用了铅钡混合矿为原料制造出来的，因为在湖南也发现有这类矿藏，这是值得商榷的。楚国的铅钡玻璃中铅和钡的含量均比较高，PbO的含量达到30%~40%或更多，BaO的含量达到10%以上，这种高质量的混合矿一般是比较少的。此外，如果使用了混合矿，制出的产品中铅与钡的含量应成一定的比例关系，然而在已经做过化学分析的楚墓出土的玻璃品中，这种比例关系并不存在。R. H. Brill等[9]指出："本文作者之一曾发现在康宁分析的第一批少数样品中，BaO含量与PbO含量成正比，并且两者的摩尔百分数也非常接近1：1。因此他认为铅和钡是以某化合物形式同时引入，即某些矿物同时含有等分子的铅和钡。而现在我们分析了大量玻璃后发现，这种简单关系并不普遍存在。"

4）硝或硝石

硝，是对某些矿物的泛称，在中国古代常常是指硝石、芒硝等矿物。硝石，又名钾硝石、土硝、火硝、焰硝，常呈针状集合体，白色，有玻璃光泽，其主要成分是硝酸钾（KNO_3）。在中国，硝石的使用有着悠久的历史。长沙马王堆3号汉墓（年代为西汉早期）出土的帛书上所记载的战国医方里已经记载有消（硝）石，谓"稍（消）石直（置）温汤中，以洒痈"。《史记·扁鹊仓公列传》记载，西汉名医淳于意曾以它治病。中国许多地区都有硝石出产。（同治）湖北《来凤县志》记载："硝出峒中者良，色莹洁者为上。"湖北《建始县志》也载："查建始县紫密等峒每年可获净硝三万余斛。"硝石是制造黑火药的主要原料之一，对于它的性能古代文献中早有记载。中国第一部本草专著《神农本草经》中指出："朴硝能化七十二种石。"这里所说的"朴硝"不是指的芒硝而是指的火硝，孟乃昌[16]曾详尽论证过。"能化七十二种石"中的"化"，是指熔化、熔解的意思，"七十二种石"是泛言其多之意，其中大部分应是硅酸盐类的岩石。如果用硝石来熔解石英，就能够制成钾玻璃，中国两广地区汉墓中出土的钾玻璃制品，就是采用硝石为原料之一制成的。表9.1所列的第17号样品，即长沙楚墓出土的蓝玻璃珠，其K_2O的含量高达15%以上，而MgO的含量又很少，由此推测该玻璃珠是采用硝石为原料制成的。

5）芒硝

芒硝又名皮硝（因用于鞣制皮革的缘故）、朴硝，其主要成分为含有结晶水的硫酸钠（$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$），脱水后的产物称为无水芒硝，常呈致密块状，有玻璃光泽。天然的芒硝中往往含有其他类物质，如石膏（$CaSO_4$）等。芒硝和硝石，在中国古代是将它们当作同一种物质看待的，开始区分它们是东汉以后的事，真正将它们区分开来就更晚了。所以在战国时期，人们在制造玻璃时，硝石与芒硝可能都使用过。表9.1列出的第13、14、15、18号4件玻璃

璧，其化学成分中Na_2O与CaO可能就来源于芒硝。

前文指出，西方的玻璃品在公元前6世纪末传到了楚国，但是其制造技术并没有同时传到楚国，或者只是一鳞半爪的传说。如东汉王充《乱龙》篇中记载："今使道家铸阳燧，取飞火于日……五月丙午日中之时，消炼五石铸以为器，乃能得火。"西晋葛洪《抱朴子·内篇·论仙》中记载："外国作水精碗，实是合五种灰以作之，今交广多有得其法而铸作之者。""消炼五石""合五种灰以作之"，到底是哪五种石，哪五种灰？都不清楚。所以楚国人只得利用自己已有的烧制釉砂的技术，试用多种具有玻璃的光泽或具有类似玉石类材料外观的矿物来仿制西方的玻璃品，这就是楚墓中出土玻璃品的化学成分多种多样的原因。战国时期的楚人没有化学分析的能力，他们只能通过对一些物质的某些物理性质的比较来选择原料。在玻璃中，石英砂是玻璃的主要构成者，是玻璃中含量最多的物质；方铅矿主要提供铅的来源，PbO是玻璃的主要构成者之一，同时它还能起到降低玻璃的熔融温度、提高玻璃的折射性和可塑性的作用。其中降低玻璃熔融温度这一点，相当于西方玻璃生产时采用的天然碱所起的作用。因为在中国黄河和长江中下游地区，天然碱资源是比较缺乏的。硝石和芒硝也能起到助熔剂的作用。

引进含钡的重晶石的使用同样也能降低玻璃的熔融温度。此外，钡的存在能使玻璃产生一定的混浊，使制出的玻璃品呈半透明或不透明状，起到类似玉石制品外观的效果。湖南长沙一些楚墓出土的某些玻璃璧，其化学成分中BaO的含量甚至超过了PbO的含量，其原因可能就在这里。钡可能是作为一种配合料组分有意引入的，因为它可以像碱一样起助熔作用或对钙的稳定作用。因此钡也可能是中国玻璃制造者为获得像玉一样的玻璃而引入的。电子探针分析表明这是由于存在二硅酸钡析晶产物，这一结论已由X射线衍射所证实[9]。

9.1.3.3 蜻蜓眼玻璃珠中"眼"的形式

楚国玻璃品的种类有珠、管、片、璧、印章、剑饰等多种。从它们的外形来看，片、璧、剑饰、印章的外形与同类的玉石类制品或青铜制品比较相近，而玻璃珠（包括大部分未烧成玻璃质的釉砂珠）的外形虽然一般都呈圆形或圆柱形，但其表面的纹饰却呈多种不同的形式，也就是说蜻蜓眼玻璃珠表面"眼"的形式也有多种。所谓"蜻蜓眼"，是考古工作者对这一类玻璃珠表面纹饰的一种形象的称谓，主要是指玻璃珠表面的圆（或椭圆）圈纹。这种圈纹是由中间一点以及相邻颜色不同的同心或不同心的圆环形成的。圈数少则1~2个，多则5~6个或更多，圈纹的颜色蓝、白者多，棕、绿者次之，所以称之为"蜻蜓眼"，也有些学者称之为"镶嵌珠"。这类玻璃珠可作为装饰物镶嵌在铜镜上，如河南洛阳金村出土的一面铜镜（战国）中就同时嵌有这类玻璃珠和软玉（图9.4）。对于这些"眼"的外形及有关现象的了解，将有助于探讨其制造



图9.4 河南洛阳金村出土的嵌有蜻蜓眼玻璃珠及软玉的铜镜（直径12.2 cm，美国波士顿艺术博物馆藏）

技术问题。下面仅就常见的一些蜻蜓眼玻璃珠的“眼”的形式分述如下：

1）圆面型

指玻璃珠表面花纹即“眼”与珠体相平，没有明显的凸起或凹下的情况，如江陵马山一号楚墓出土的N21号玻璃珠，深蓝色，扁圆体，珠周身饰大小相套的白色圆圈纹及黄、灰色乳钉纹，花纹与珠体表面相平。山西太原赵卿墓出土的蜻蜓眼式料珠，基本上都是这种类型。



图9.5 湖北随县曾侯乙墓出土的嵌有多色“蜻蜓眼”的玻璃珠

2）凸面型

指玻璃珠表面花纹即“眼”明显地高于珠体表面，呈凸起状，有的甚至像角一样。如曾侯乙墓出土的E.C.11.135号玻璃珠，珠体扁方形，橘黄色，表面有8个“眼”，“眼”的中心为蓝紫色，外有白、蓝、紫相间的三道圆圈纹（图9.5）。江陵九店楚墓出土的几枚294：54号玻璃珠，珠体均饰凸起的白、蓝色或深绿色圆圈纹。



图9.6 湖北江陵望山出土的蜻蜓眼玻璃珠（战国中期）

3）叠压型

这类玻璃珠上的纹饰是通过珠体表面相互叠压的圆点和圆形薄片形成的。如江陵望山楚墓出土的料珠（图9.6），其表面一组“眼”的构成大致为：珠体表面黏结（或原与珠体相连）一圆形薄片，薄片上又涂有一层圆形（直径小于圆形薄片）黏结剂类物质，正中置一凸起的圆粒。从正面看，形成套圈纹，像“眼”一样。

4）嵌入型

即在珠体表面形成多个凹坑，用另一种颜色的玻璃粒嵌入凹坑内。嵌入玻璃粒的四周不与珠体相连或者用另一种颜色的物质嵌入玻璃粒的四周形成一个圈，这样也就形成了“眼”的形式。曾侯乙墓出土的E.C.11.206号玻璃珠，珠体为翠绿色，嵌入的玻璃粒有19个。

以上只是后德俊所见到的为数很少的蜻蜓眼玻璃珠（包括釉砂珠）的情况，并且是循着有利于探索其制造工艺的角度进行分类的。实际上楚墓（或受楚文化影响的墓葬）中出土的蜻蜓眼玻璃珠的“眼”的形式可能还不止这四种。

在上述四种类型里面，“眼”的形式相同，但组成每一个“眼”的一组纹饰的细部都互有区别。既不能在同一颗珠子上找到两个在花纹的大小、形状及每一个花纹线条的相互位置等方面完全一样的“眼”，也很难找到“眼”的个数、类型、排列方式、相互位置及每组花纹的外形尺寸、花纹线条的相互关系等完全相同的两个珠子。例如曾侯乙墓出土的E.C.11.179号玻璃珠，珠体深蓝色，表面有7个“眼”，“眼”微拱。每个“眼”的组成是：中间为一深

蓝色的玻璃点，直径0.1~0.2 cm；深蓝色的玻璃点外有白、褐相间的圆圈纹7圈。“眼”径0.5~0.6 cm。这7个“眼”虽然看起来都大致相同，但仔细观察就会发现每个“眼”之间都存在多处不同，可以说几乎找不到在点的外形、大小、各个圈纹的大小、弧度、相互位置等方面完全相同的两个“眼”。

出土文物所显示的上述现象表明，玻璃珠上的花纹（即“眼”）在制造过程中存在着较多的随意性，有可能是一个个单独制造的。这就为我们探索楚国玻璃品的制造工艺提供了珍贵的资料。

9.1.3.4 几种制造工艺的考证

按照现代有关玻璃的定义，是指熔化了的物质冷却后所形成的无定形的产品，其内部一般是没有晶体存在的。就是说玻璃的特征之一是先熔融后成型。而春秋战国时期楚国的玻璃制造工艺中，既有采用先熔融后成型的方法制成的器物，也有采用先成型后熔融的方法制成的器物。其中，用后一种方法制成的产品中，一般是部分或大部分已成玻璃体，但仍有大部分或部分晶体存在。存在有较多晶体的产品叫釉砂或玻砂，但其已成玻璃体的部分具有玻璃的特性，更重要的是这种制造工艺与玻璃的生产有密切的关系，所以在此一并加以讨论。

楚国生产玻璃的地区至少有两个：一个是长沙，一个是江陵。高至喜[17]通过对出土玻璃璧墓葬的分析，指出长沙一带出土的玻璃璧应是在当地生产的。江陵楚墓中出土有带有泥芯的玻砂珠，这类产品当然也应是在当地制造的；因为如果是外地输入的话，其珠体穿孔处的泥芯是不会保留下来的。然而需要指出的是，至今楚国制造玻璃的有关遗址尚未发现，古代文献中对此也未见记载。因此，只能以考古发现的楚国玻璃制品为依据，对其玻璃制造工艺进行一些考证。

1）模压法

玻璃制造工艺中模压法的出现和使用与青铜铸造技术有着相当密切的关系，从某种意义上说，玻璃制造中模压工艺的出现和使用是青铜器泥范铸造技术的延伸与发展。楚墓中出土的玻璃璧（图9.7）、玻璃剑首（图9.8）、玻璃剑珥（图9.9）、玻璃印章等都是采用模压法成型的，西汉墓中出土的玻璃块、玻璃耳杯等也是采用模压工艺成型的。采用模压工艺制造玻璃品时，其生产工序大致可分为下列几个步骤：

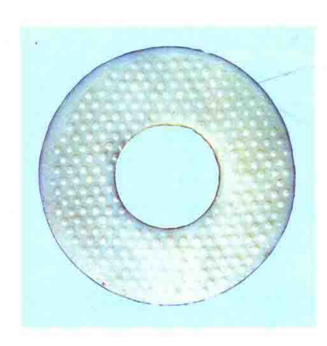

图9.7 湖南长沙出土的乳钉纹玻璃璧


图9.8 湖南长沙出土的玻璃剑首


图9.9 湖南长沙出土的玻璃剑珥

（1）制模。根据所需器物的形状先制泥范，一般来说，玻璃壁、玻璃剑首、玻璃块、玻璃耳杯、玻璃盘等只需上下两块泥范，泥范制好后必须先将它烘干。为了防止浇铸时高温玻璃液的突然冷却，泥范在浇入玻璃液之前须进行预热。由于泥范在浇铸前进行了预热，加之浇入的玻璃液具有很高的温度，使得制成的玻璃制品有一个自然冷却的时间过程，这一过程对玻璃制品来说，实际上起到了一定的退火作用，使得生产出的玻璃品不易发生脆裂而损坏。

（2）熔化。将各种制造玻璃的原料（一般呈粉末或碎片状）拌匀后放入坩埚内进行加热熔化。坩埚可以置于熔炉内进行加热。出土的楚国玻璃制品都是小型器物，由此推测当时熔化玻璃的坩埚容积也比较小，这一点与春秋战国时期楚国所具有的科学技术水平也是相当吻合的。据考证，$SiO_2 \cdot PbO \cdot BaO$类型的古代玻璃的熔化温度达1 050℃[9]，考虑到熔化后的玻璃料在操作过程中会逐渐冷却，开始进行挑料、模压等操作时的温度比970℃还要再高70~80℃。这一温度与春秋战国时期楚国采用炼铜竖炉冶铜时所达到的冶炼温度（1 100~1 200℃）是比较相近的，也是楚人拥有的科学技术能力所能达到的水平。

（3）浇铸。将熔化后的玻璃液浇入泥范中，由于玻璃液的黏度较大，必须使其表面大致平整，然后盖上另一块泥范。泥范本身有一定的重量，对玻璃液起到模压的作用，这主要是由于玻璃液的黏度较大，难以采用泥范浇铸出合格的产品。同时，冷却后的玻璃又硬又脆，浇铸成型时其浇道的存在使之形成的玻璃浇道的清除也相当困难。长沙楚墓中出土的玻璃璧，有纹饰的一面光滑并有光泽，另一面则粗涩无光泽[17]。造成该现象的原因是因为刚刚浇入的玻璃液温度高，泥范上的花纹就在玻璃璧的表面显示出来；而玻璃璧的另一面，因要控制浇入玻璃的量（即控制玻璃璧的厚度）和使玻璃液的表面平整，因而耽误了一些时间，使玻璃表面温度下降、黏度增大，盖上另一块泥范时所形成的表面就变得粗涩无光了。

2）铸接法

楚墓出土的蜻蜓眼玻璃珠中相当一部分是采用铸接法制成的。这种方法是利用熔化后的玻璃液在冷却时有一个黏度逐渐增大、质地由软变硬的过程而进行玻璃成型的。所以有的古代玻璃研究者将它们称为镶嵌珠。

（1）“眼”的制作。在呈一定弧度的凹形范模内，滴入一滴蓝色的玻璃液，稍稍冷却后立即在其上表面覆盖一层有一定黏度的白色或棕色玻璃液；待稍冷却后再覆盖一层另一种颜色的玻璃液。如此反复，直到需要的层数为止。

由于“眼”是一个个分别制成的，每一个“眼”的每一次玻璃的用量、相互之间的位置等都可能存在差别，因此很难在蜻蜓眼玻璃珠上找到花纹、弧度大小、相互位置等完全相同的两个“眼”来。

1998年，后德俊曾到美国圣迭戈考察，看到一家由西班牙人开设的玻璃工艺店，店内有许多玻璃料条，有一种截面为圆形的料条，直径约7 mm，其一侧是一蓝色的料条，直径1~2 mm，蓝色料条外缘的三分之二以上部分被其他颜色的玻璃一层层地包围着，使用时在喷灯上加热熔融后剪下所需的长度。如用这种玻璃料条制造“眼”是十分方便的，然而，当时的楚国是不可能有这种玻璃制造技术的。

（2）蜻蜓眼玻璃珠的制作。在一根细金属棍的一端涂上一层耐火泥，耐火泥上粘一层石英粉末或细砂粒，挑起一块熔化的玻璃料绕在耐火泥上，趁其熔融状态时将其做成近似的

圆珠形，有的学者将其称为“缠心法”[5]。在其表面粘贴（或滚压）上一定数目的“眼”，再通过相应的工具进行加工定型。在整个操作过程中，为避免玻璃表面的冷却，须不断地进行加热。由于每个“眼”都有一个曲率相近的表面，容易铸接在同一个圆珠体的表面上。出土的蜻蜓眼玻璃珠，其穿孔的内表面往往可以见到残存的少量砂粒，就是在采用铸接法制造它们时所留下的痕迹。

可见，蜻蜓眼玻璃珠的制造工艺与某些带有附件的青铜器的制造工艺有一些相似之处，所以将这种方法称为铸接法。

楚墓中出土的玻璃耳珰、玻璃管等的制造工艺与上述方法相类似，只是其表面没有“眼”的装饰，不存在铸接的工序。这一类玻璃品可能是采用了较简单的泥范或模具，有的就是在细金属棍的一端涂上耐火泥后再挑起玻璃液加工成型的。湖北江陵楚墓出土的料管，其内表面有白色的砂粒存在，证明是采用此种方法制造出来的。

3）烧结法

烧结法主要用于先成型后熔化（或烧结）、被称为釉砂的一类器物的制造，与春秋时期釉砂的制造技术相类似。

湖北江陵楚墓出土的蜻蜓眼釉砂珠，时代为战国中期或稍晚，珠体的穿孔处还保留着已烧结的黄色黏土（即泥芯），证明该珠确是楚人在当地制造的。该珠外表的颜色为深绿色，表面有多个“眼”，深绿色的玻璃粒与灰褐色凸起外环组成一个“眼”，外环与玻璃粒之间是一环形的凹槽。从珠体破碎的断面可以看到，表层深绿色玻璃层的厚度约为0.5 mm，不太均匀，内部全是灰白色的砂粒。由此推测这类器物的制作工艺可能是：

（1）将掺和有一定量助熔剂的石英粉末用水或黏合剂调成干稠状后塑成圆珠形。穿孔处填置黏土支撑。在珠体表面做出“眼”的形式，其凸起的外环可能是用成分不完全相同的另一类原料制成的。

（2）在一定的温度下进行焙烧。珠体表面的砂粒被烧成了玻璃体，形成了厚度不可能十分均匀的玻璃体薄层。珠体的内部仍然是未熔融的砂粒，只是被烧结了而已。所以将这种方法称为烧结法。

（3）珠子绕成之后再剔去穿孔处的黏土。

9.1.4 楚国玻璃在中国玻璃生产史上的地位

楚国的玻璃品主要是用玻璃为原料仿制同类型的玉石器物，所以楚国的玻璃成分中加入了一定量的含钡物质，以使其制成品在外观与质地上与玉石器相近。在春秋战国时期，楚人对玉石的用途主要是制造装饰品（珠、管、耳珰等）和部分祭祀用品（璧、琮等），因此同时代的玻璃品主要也是这类器物，出土的楚国玻璃品在墓葬中往往与玉器放在一起也证明了这一点。从楚国玻璃的化学组成、制造工艺、用途等方面来看，楚国的玻璃在中国的玻璃生产史上都占有重要的地位。

1）楚人创造了中国历史上最早的铅钡玻璃

从化学成分上看，楚人为了制造出类似玉的质地的材料，采用了含钡的矿物（重晶石等）作为制造玻璃的主要原料之一，结果创造出了铅钡体系玻璃。这是一种在化学组成上很独

特的中国古代玻璃体系，在当时的世界上是独一无二的，可以说铅钡玻璃是中国自创的最早的古代玻璃。西汉以后逐渐出现的高铅玻璃就是在铅钡玻璃的基础上发展起来的。

2）楚人创造了玻璃生产中的模压工艺

从楚墓中出土的玻璃品来看，楚国的玻璃制品中既有先成型后熔融的如釉砂珠等，也有先熔融后成型的玻璃璧等，后者是采用模压工艺制作而成的。从制造工艺的发展过程来看，楚国玻璃制造中的模压工艺应该是从青铜器的铸造工艺发展而来的。春秋战国时期的楚国具有比较发达的青铜铸造水平，楚人将其应用于玻璃制造中，生产出了玻璃璧、玻璃剑首等玻璃制品。

3）楚人制造出中国历史上最早的平板玻璃制品

从制造工艺上看，楚国制造的玻璃璧、玻璃剑首等所采用的模压工艺，为中国早期平板玻璃的出现创造了条件。实际上，玻璃璧、玻璃剑首等就可以说是中国最早的平板玻璃，只是形状不同，并且还不透明。如果当时采用的制造玻璃的原料中含钡的矿物比较少的话，那么采用模压工艺制成的玻璃产品就是比较好的平板玻璃，而且可以在建筑物的门窗上得到应用。西汉刘歆《西京杂记》记载："赵飞燕女弟居昭阳殿，……窗扉多是绿琉璃，亦皆达照，毛发不得藏焉。"可见，这种绿玻璃是平板玻璃，透明度相当好。平板玻璃在楚墓中虽然未见出土，但在西汉早期的广州南越王墓（该墓的年代约为公元前122年）中已有发现，该墓出土有多块长方形的平板玻璃，浅蓝色、半透明，尺寸已达9.5 cm × 4.5 cm × 0.3 cm大小，这样的玻璃块如果安装在建筑物的窗格上不仅美观艳丽，而且也有一定的采光性能，在建筑物上是能够得到应用的。更为有趣的是，广州南越王墓中出土的平板玻璃，在化学成分上与楚国的铅钡玻璃完全相同，也是地道的铅钡玻璃，其PbO的含量可达30%以上、BaO的含量可达10%以上。从楚文化对南方的影响来看，这种板块玻璃的出现与楚国的玻璃制造工艺之间有着密切的关系，极有可能是楚国玻璃制造技术中模压工艺的继承和发展。

4）楚国玻璃在技术上达到了仿玉的效果

从用途上看，楚国的玻璃品基本上都是作为装饰品使用的，在器形上绝大多数都是璧、珠、管等小型器物，与同类的玉石质地的器物在外形上相近。从使用目的看，楚国的铅钡玻璃制品在外观上和使用性能上，都基本上达到了同类玉石器代用品的效果，在技术上也是成熟的。

此外，楚国的玻璃制品已经开始用在日用品上，如玻璃印章，扩大玻璃制品使用范围的思路已经出现。然而，从楚国玻璃品用途的总体来看，玻璃的使用范围还仅仅局限于作为制造仿玉的装饰材料这一狭小的范围之内，这样其需求量就不可能很大，影响了玻璃生产的进一步发展，这也正是中国古代玻璃生产发展缓慢的原因之一。采用模压法制造平板玻璃，如果不考虑仿玉的效果，完全可以制造出透明度较好的平板玻璃产品，以用于除装饰以外的其他领域。然而直到西汉晚期，人们制出的玻璃衣片（仿玉衣的玉片）仍然采用铅钡体系的玻璃，不仅如此，人们还在玻璃衣片的外层粘上一层灰白色的矿物粉末，使衣片的外观更接近于玉石类材料，从而达到仿玉石衣片的效果。这一思想阻碍了中国古代玻璃生产的发展与进步。

综上所述，可以认为楚人开创了中国玻璃生产史上第一个具有自身特色的铅钡玻璃，并

且达到了比较好的仿玉石器物的效果；楚人制造玻璃璧等所采用的模压工艺为中国早期平板玻璃的制造奠定了基础；同时，楚人将玻璃仅仅作为玉石材料的一个补充来看待的思想，将玻璃的用途限制在仿制玉石类器物这一狭小的范围之内，也是中国古代玻璃生产发展缓慢的原因之一。

9.1.5 其他诸侯国墓葬中出土的玻璃

（1）山西省考古工作者发掘的太原赵卿墓，时代为春秋末年或战国早期，约公元前470年，与湖北曾侯乙墓相近，墓中出土有多枚蜻蜓眼玻璃珠（图9.10）。



图9.10 山西太原赵卿墓出土的蜻蜓眼玻璃珠（春秋末到战国初）

（2）1992年，河南洛阳市文物工作队在洛阳市区发掘出一座战国晚期的墓葬，发掘者认为该墓"应属周王室的陪葬墓"，墓主人为女性。墓中出土蜻蜓眼玻璃珠3枚，外形有圆形和菱形两种，大者直径约2.8 cm，小者直径只有0.8 cm。墓中还出土一枚"六山镜"，该镜的背面"间饰18枚嵌料珠或包金箔的梅花形乳钉"[18]（图9.11）。青铜镜的背面花纹中镶嵌玻璃，这在中国古代玻璃制作工艺中是十分少见的，但是与玻璃剑饰相比，其性质又基本相同，都是采用玻璃品来装饰青铜器。"山字镜"中有"三山镜""四山镜""六山镜"等，学术界一般认为这类青铜镜是楚国的产品。



图9.11 河南洛阳出土的镶嵌蜻蜓眼玻璃珠的铜镜（战国晚期）

（3）1979年，河南省文物商店在洛阳收购到一件战国琉璃球，球的直径5.8 cm，有对称的十字孔，球表面是白、蓝、黄、红等五彩缤纷的荧光层。球通体48个双彩圈和彩球组成的"蜻蜓眼"凸，每6个一组，围成一个圆圈，共分8组。此球颜色之艳、体积之大、造型之美，为新中国成立后发现战国琉璃球之最（图9.12）。



图9.12 河南洛阳出土的琉璃球（战国）

（4）在山东临淄郎家庄1号东周墓中，出土"料珠九枚，有球形和扁圆形两种。饰豆青、淡蓝、白色的鱼目纹"，同时还出土有带穿孔的"料饰"一件[19]。这种料珠是典型的"蜻蜓眼"式，仅从"眼"的形制看，有圆面型与凸起型两类。考古报告中认为该墓的年代为公元前500—公元前400年，现在看来应是战国早期或中期的墓葬。

（5）山西长治分水岭战国晚期墓中出土有“料珠14件。36：19浅蓝胎，面饰七个蓝点，外绕黄白圈，中有孔，径1 cm。25：122黑胎，白圈，蓝点，径1 cm。其余为褐绿与白色胎，组成方格与圆点图案”[20]。浅蓝色胎与褐绿色胎的可能是玻璃珠，黑色胎与白色胎的可能是陶珠。

（6）河北石家庄市战国遗址的发掘中，出土“料环，为一残段，料质已朽，只有部分透明的蓝绿本色，环上有两周凸起的圆点文。另外还有料渣一小块，为蓝绿色半透明体，布满气孔，可能为制作釉陶之釉料”。该遗址的时代为战国中期或晚期[21]。这件料渣极有可能是当时熔融的玻璃料，“布满气孔”表明是当时的产品。

9.2 两汉时期的玻璃制造技术

9.2.1 考古发现西汉早期的玻璃制品

1）河北满城中山靖王刘胜墓中出土的玻璃制品

中山靖王刘胜墓的年代为公元前113年，为西汉早期偏晚。该墓出土了一件玻璃盘和两件玻璃耳杯，盘和耳杯的玻璃质料相同，都为翠绿色，微有光泽，呈半透明状。玻璃盘经光谱定性分析，其主要成分为硅和铅，并含有钠和钡；耳杯的化学成分应与玻璃盘相仿，为铅钡玻璃制品[22]。这两件玻璃耳杯的形状与中国西汉流行的漆耳杯极为相似，耳杯是中国自春秋战国时期以来大量使用的一种器物，其形式是中国特有的，国外尚未见到这种形式的器物。所以玻璃盘和玻璃耳杯是中国自己生产的产品，也是中国西汉时期已经能够生产铅钡玻璃容器的证明。玻璃盘与玻璃耳杯的制造方法，与中国曾较多生产的玻璃璧等相似，都是采用模压法铸造而成的，只是工艺上要复杂一些。玻璃盘与玻璃耳杯成型后曾进行过通体的打磨加工。也有学者认为玻璃耳杯是采用“失蜡铸造法”生产的，实际上没有这种必要；原因是：耳杯外形简单，无须通过蜡模造型。

2）江苏徐州北洞山西汉楚王墓中出土的玻璃制品

西汉楚王墓的年代为公元前128年，为西汉早期，该墓早年被盗。李德银[23]对该墓出土的玻璃制品做了介绍：

“玻璃杯16件，其中2件较完整，编号6103的玻璃杯口径8.4 cm、缘厚0.4 cm、高8.2 cm、底径8.3 cm、底厚0.6 cm。杯身呈筒形，平沿直壁，平底。外观极光滑，有光泽但有小气孔。内壁较粗糙，有较大的孔。从杯身截面观察，内部气孔较多，一般都呈椭圆形，最大者达0.4 cm × 0.5 cm。杯呈淡绿色，截面颜色较深。……其大小、轻重、厚薄说明铸造应为一模一杯，而非同模所铸。

“杯身外沿下，中部和近底部有三道箍痕，可能原有金箍等饰，已为盗墓者砸碎杯身取走。箍的宽度不一，沿箍宽0.7~0.9 cm。……杯底有模注时预先留下的深0.15 cm的凹槽，用于嵌箍，较为特殊。每个杯底部距边缘0.4 cm处有一道朱线绘成的圆（图9.13）。

“蜻蜓眼纹饰玻璃，共三件，呈深蓝色半透明状，背平，表面嵌四或六个蜻蜓眼纹饰。眼中间厚，四周越向边缘越薄。编号6140长1.8 cm、宽1.2~1.6 cm、厚0.2 cm，表面嵌四眼。……从其大小、形状判断，应为器物上的嵌饰物。

“由于玻璃中含有少量的氧化铜，杯身呈绿色。通过X射线衍射分析，玻璃杯不透明的原因是由于玻璃杯在成型过程中产生了析晶现象。杯密度仅4.049 g/cm^3，其折射率也较小。



图9.13　江苏徐州北洞山出土的绿色玻璃杯（西汉早期）



图9.14　江苏徐州北洞山出土的绿色玻璃兽（残）（西汉早期）

由于在入模浇铸过程中，液体固化时受到张力的影响，形成许多气孔，这些都表现出早期玻璃容器的不足之处。玻璃兽残剩部分约为全器的二分之一，推测达1.5 kg以上（图9.14）。

"北洞山发现的这20件玻璃品，种类虽然较少，但数量较多。突破了我们以往对中国自制玻璃都为小件饰品及礼仪用品的认识。这批玻璃品中首先出现了目前中国自制最早的玻璃容器和大型实用玻璃工艺品。而且说明当时已经具备了成批生产这种玻璃容器的能力，标志着在西汉早期，中国传统的自制玻璃已经完成由生产小件装饰品向生产生活日用器皿和大型实用工艺品的过渡。北洞山出土的即使是小块蓝玻璃，也不是单纯的小件装饰物，而是具有实用价值的嵌饰物。"

该墓出土的16件玻璃筒形杯、一件残破的玻璃兽及一些玻璃碎块，每件玻璃筒的重量都超过了500 g，残破仅剩半只的玻璃兽重达852 g，由此可以看出在西汉早期，中国已有能力熔制较大的玻璃料块。该墓出土的玻璃制品的化学成分见表9.3。

表9.3　徐州北洞山西汉楚王墓出土玻璃品的化学成分　（%）

名称	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	PbO	BaO
玻璃兽	39.18	0.96	0.2	0.85	0.1	0.26	3.66	41.28	11.15
深蓝色玻璃块	41.63	1.52	1.46	1.96	0.76	0.15	4.23	25.64	19.46
玻璃杯残片	34.66	1.48	0.11	0.42	0.1	0.11	3.65	39.25	16.23

3）安徽天长县（今天长市，下同）安乐乡北岗村9号西汉初年墓中出土的玻璃制品

1986年12月，安徽省文物考古研究所在天长县安乐乡北岗村9号西汉初年墓中，于墓主人头部发现2块玻璃璧残片，据王步毅等[24]介绍：出土的2块残片一块大些，面积约6 cm^2，另一块甚小，应是前一块的碎片。玻璃璧系模制，璧体平薄、深绿色、半透明。一面印有凸起的涡纹，色泽光亮；另一面有一厚约1 cm的风化层，粗糙不平，光泽全无。残璧的厚度约3 mm，按曲率计算，玻璃璧的直径约为15 cm。墓葬的发掘者指出："该墓没有被盗过，因此该玻璃璧制作年代的下限应为西汉初期。发掘清理表明，该玻璃璧是以残片陪葬的，说明玻璃制品在西汉初期是十分珍贵的，因而认为这块玻璃璧业已传过几代的观点是可以接受的。"玻璃璧的能谱分析结果表明，它是属于铅钡玻璃。

4）其他墓葬出土的玻璃制品

20世纪50年代发掘的山西长治分水岭12号墓中出土有两件青铜剑，“两剑身上侧近处，各有一粒花料珠（蔚蓝底，翠蓝点，围绕黑白圈）”[25]。该墓的年代原定为战国时期，但从该墓出土的残铜器上线刻图案看，完全是西汉早期的风格，应是西汉早期的墓葬。

20世纪50年代发掘的陕西半坡105号墓中出土“料珠2件。同出于一座墓中。形体和大小完全相同。器身作圆柱形，中部穿孔，外敷绿色釉质，并刺有小孔”[26]。该墓属于西汉时期的墓葬。

在陕西汉茂陵发现了一个直径近一尺（汉代的尺）的大玻璃璧，璧呈深蓝色、半透明，表面饰谷纹。直径23.4 cm、厚1.8 cm，重1.9 kg[27]（图9.15）。谷纹璧是中国战国—西汉时期墓葬中常出土的器物之一，这件大型玻璃璧应是中国自己生产的。表明在西汉早期中国已经能够生产尺寸较大的板块玻璃制品。


图9.15　陕西汉茂陵出土的深蓝色玻璃璧（西汉）

以上论述的满城刘胜墓、徐州西汉楚王墓等地出土的玻璃品，它们基本上代表了中国西汉早期墓葬中出土玻璃品的情况。在中国其他地区的西汉早期墓中也有玻璃制品出土，但大部分是玻璃珠、玻璃耳饰等小型器物。

从以上出土的玻璃品情况可以看出，中国西汉早期的玻璃具有以下三个方面的特点：

（1）绝大部分玻璃品的质地仍然是中国特有的铅钡玻璃。化学成分中氧化铅和氧化钡的含量都比较高。

（2）虽然这一时期玻璃制品中的相当一部分仍然是玻璃珠、玻璃璧等器物，但是已经开始采用模压技术生产本具有民族特色的玻璃器皿，如玻璃耳杯。其中江苏徐州北洞山楚王墓中出土的玻璃兽，因造型较为复杂，是否为“失蜡铸造法”制成，目前尚难确定。不过，“失蜡铸造法”仍然属于模铸的范围。

（3）西方的玻璃器皿尚未在这一时期墓葬和遗址的考古发掘中出土，说明在西汉早期西方的玻璃器皿尚未传入中国或传入的数量很少，目前尚未发现。

9.2.2　考古发现西汉中晚期及东汉时期的玻璃制品

1）湖南长沙出土的玻璃矛

1956年，在长沙市北郊沙湖一座西汉墓中出土了一件玻璃矛，该墓的年代为西汉中晚期，这是中国考古发掘中所发现的大量玻璃制品中唯一的一件玻璃质地的兵器。矛由刺身和柄两部分、通体一次制成，全长18.8 cm，刺身长9 cm、柄长9.8 cm。刺身中部有凸起棱脊，脊两侧有牙形血槽；柄为圆柱形，中部有一圆球形凸起。矛质坚而脆，色泽浅蓝、晶莹透明、有少量气泡存在，矛的表面有明显的打磨痕迹，其尖锋和刃部均不锋利（图9.16）。熊传新[28]指出：“从这件矛的形制和质地分析，它的用途，显然不是作为实用的兵器，可能是专



图9.16　湖南长沙沙湖出土的蓝色玻璃矛（西汉）

供仪式典礼上用的一种器物或是一种工艺品。”这件玻璃矛由于比较完整，仅做过密度测定，其密度为2.47 g/cm^3，既不属于铅钡玻璃（铅钡玻璃制品的密度一般都在3 g/cm^{3}以上）也不属于高铅玻璃，应属于钠钙玻璃。有人认为是传入的西方玻璃制品；但是从其形制来看，该矛与长沙地区出土的战国时期的青铜矛基本相似，只是矛柄上的圆球状凸起比较特殊，该凸起可以认为是为了便于安装矛柄进行固定而特地为该矛所添加的。所以这件玻璃矛也有可能是中国自己生产的玻璃制品。

2）其他地方出土的玻璃器

1977年10月在江苏邗江县（今扬州市邗江区，下同）“妾莫书”木椁墓中出土了一件玻璃玉衣（详见本章9.2.3节介绍），共出土玻璃片近600片，多数散布在棺内底部，在衣片上还粘有人的骨渣，所以可能是盖在尸体头部和身上的服饰。

据《亳县曹操宗族墓葬》[29]一文介绍，1974—1978年发掘的安徽亳县曹操宗族墓葬，年代为东汉末年。其中元宝坑一号墓出土聚光玻璃器两件，一件扁圆形，直径2.4 cm、凸高0.6 cm；另一件扁桃形，长2 cm、宽1.8 cm、凸高0.55 cm。明亮度与水晶相同。在放大镜下，可以看到内含微泡，硬度同玻璃一样。董园村一号墓出土聚光玻璃三件，一件扁圆形，直径1.5 cm；两件扁桃形，长1.2 cm。形状、质量与元宝坑相同，边有铜绿。从边有铜绿来看，说明聚光玻璃器四周原来曾镶有铜制的边缘或把手，由此推测这些聚光玻璃器是实用器，可能就是所谓的“阳燧”，应是中国生产的产品。近年来，也有的研究者对其进行了重新考察，认为是水晶制品。

在青海省大通县上孙家寨西汉至东汉晚期的墓葬中，出土了一批玻璃制品：有中国生产的、化学成分为铅钡玻璃的耳珰，有化学成分主要是石英砂的釉砂珠，还有从西方或印度进口的、化学成分为钠和钙的带金箔玻璃珠等。

9.2.3　“妾莫书”玻璃衣片

1977年10月，考古工作者在江苏邗江县甘泉公社发掘了一座西汉晚期的墓葬，墓内出土有龟纽银印一方，上有阴文篆书“妾莫书”三字，所以称之为“妾莫书”墓。该墓早年曾被盗，墓内的器物已经散乱，包括玻璃衣片在内。

1）玻璃衣片出土时的有关情况

据《扬州西汉“妾莫书”木椁墓》[30]一文介绍：该墓出土的玻璃衣片近600片，多数散布在棺内的底部，在衣片上还粘有人的骨渣；在棺室和椁室内也发现有少数玻璃衣片，这是由于盗墓者将尸体从棺内拖出所致。衣片大小不等，有长方形、梯形、三角形、圆形等。其中长方形玻璃衣片数量最多，一般长6.2 cm、宽4 cm；最小的梯形玻璃片的长为6.2 cm、上宽1.1 cm、下宽0.8 cm。玻璃衣片的形状及尺寸见表9.4。大多数玻璃片都是素面，只是在圆形

玻璃片和少数长方形玻璃片上模印有蟠螭纹饰。在长方形玻璃片的纹饰中心有四瓣形花一朵，少数花蕊上还保留有一点金箔。在圆形玻璃片上穿有3个孔，其余的玻璃片上均为四角穿孔。只在一片玻璃片的穿孔内发现了一小截金属物，经分析其含铜较多。与玻璃片混杂在一起的有玉璧、玉璜、玉佩饰等几十件器物，多有穿孔，当为墓主人的佩饰。由于衣片的数量不多，可能是盖在墓主人头部或身上的服饰。

近年来，中国考古工作者在西汉时期的墓葬中曾发掘出多件玉衣，如在河北发掘出的西汉中山靖王刘胜墓的金缕玉衣、在江苏徐州发掘的西汉楚王墓中出土的金缕玉衣、在广州南越王墓中发掘出的丝缕玉衣等。在中国古代，玉衣又被称为玉匣，是一种比较高级的丧葬用品。"妾莫书"墓的墓主人自称为"妾"，定为女性，其身份当然无法与中山靖王、南越王等相比，所以使用的是仿玉的铜缕玻璃衣，与其身份相符，而且只是头部或身上一部分的服饰，并不是全身的。尽管如此，这些玻璃片的作用还是十分明确的，是玉衣片的代用品，因此我们也可以称其为玻璃质地的"玉衣"或玻璃"玉衣"，并且是一件铜缕玻璃"玉衣"。

表9.4　扬州出土西汉玻璃衣片分类表

编号	形状	尺寸(长×宽，或长×上宽×下宽)(cm)	厚度(cm)	穿孔数(个)	纹饰
1	长方形	6.2×4	0.4	4	无
2	长方形	6.2×3.8	0.4	4	无
3	窄条梯形	6.4×1.7×1.4	0.4	4	无
4	梯形	6.2×2.5×2.1	0.4	4	无
5	窄条梯形	6.5×1.2×1	0.4	3	无
6	多角形	6.2×0.8×4	0.4	3	无
7	窄条梯形	6.4×2×1.8	0.4	4	无
8	梯形	6.2×3.5×3	0.4	4	无
9	长方形	6.2×3.6	0.4	4	无
10	长方形	6.2×4	0.4	4	有
11	圆形	直径6.2	0.4	3	有

2）玻璃衣片的化学成分与制造工艺

程朱海等[31]采用了X射线分析、化学组成分析、岩相分析等测试方法对该墓出土的玻璃衣片进行了分析，证明了这些衣片为玻璃质地，其中含有许多微小的晶体，所以玻璃衣片呈半透明状。

可以看出，"妾莫书"玻璃衣片的玻璃层为铅钡玻璃，是中国特有的玻璃品种。其外层近似于铅玻璃，是由于制造时为了便于脱模而撒上了一层玻璃配合料粉，这层料粉也能烧成玻璃，只是未能加热熔化成玻璃而已。中国古代的玻璃生产从春秋战国时期的铅钡玻璃为主发展到西汉中晚期前后直至唐宋时期的铅玻璃为主的变化过程，在"妾莫书"玻璃衣片的

化学成分中得到了反映。

"妾莫书"墓中出土的玻璃衣片，虽然可按大小、形状和纹饰的不同分成不同的类型，但是每一类型的玻璃衣片的尺寸几乎相同，且厚度均比较一致，特别是那些有纹饰的衣片，纹饰四边无棱角，底部深浅一致，无雕刻痕迹，这些特点都足以说明衣片是用模压工艺铸成的。对于衣片制作工艺，程朱海等指出："至于衣片的表层，我们认为不是玻璃的风化层。因为从偏光显微镜和扫描电镜中可以看到衣片的玻璃层和表层俨然是两层叠加，毫无中间反应层……从带有纹饰的衣片上也可以看到花蕊处还贴有金箔，若表层是风化层，则金箔早已不复存在。……根据化学分析的结果，表层的化学成分和玻璃较相近。我们曾将刮下来的表层粉末加热熔化，它也能熔成玻璃，只是熔化温度比衣片玻璃的高些。通过上述分析，我们认为衣片的制作工艺可能是先在陶模中撒上一层玻璃配合料粉（为了便于脱模），然后将熔好的玻璃液倒入模内，接着在玻璃上再撒一层玻璃配合料粉，趁玻璃未硬化之前，压成衣片。由于陶模形状不同，有带阴纹的，也有光面的，所以铸成的衣片有形状、大小和有无纹饰之别。"

"妾莫书"玻璃衣片采用铅钡玻璃为原料且其表层撒一层玻璃配合料粉，其主要目的是为了更好地模仿玉石的质地，特别是表层的一层粉末，使得衣片表面呈白色的陶瓷状——也就是未经细磨的玉石器的外观，该玻璃衣片出土时也曾有人认为是"石衣"，也就是用玉石制成的，可见模仿效果之佳。后德俊曾见过几件出土的汉代玉衣，其中的一些玉片也未经细致的打磨，表面呈白色或灰白色细粒状，"妾莫书"玻璃衣片上的一层粉末正起到了这一效果。中国早在战国时期就采用模压工艺生产玻璃璧等器物，特别是长沙战国楚墓中出土的玻璃璧，表面光滑、半透明，根本没有表面的粉末层，这种玻璃璧是仿制半透明的玉璧制作的，由此也可看出在玻璃璧的制作过程中不存在撒粉末便于脱模的问题。可见，玻璃衣片的制作过程中撒一层玻璃配合料粉，主要并不是为了便于脱模，而是为了更真实地模仿那种表面未经细致琢磨的玉片的外观。

3）汉代玻璃生产中的几个问题

如果我们采用衣片表层的玻璃配合料粉作原料、通过模压制成玻璃片的话，这种玻璃片的透明度应该是比较好的，因为其中氧化钡的成分少了，使得玻璃的混浊度减少，而氧化铅的含量很高，又使玻璃的光泽增加，完全可以用作采光的窗玻璃。古代文献中曾有关于汉代使用玻璃采光的记载，例如，东汉郭宪《别国洞冥记》卷2中记载：汉武帝在"元鼎元年，起招仙阁于甘泉宫西。编翠羽麟毫为帘，青琉璃为扇"；西汉刘歆《西京杂记》（上卷）记载："赵飞燕女弟居昭阳殿，……窗扉多是绿琉璃。"从这些记载和"妾莫书"玻璃衣片的化学成分及制作工艺的研究结果中，可以看出中国汉代玻璃生产中的下面几个问题。

（1）西汉中期前后，中国的玻璃生产开始了从主要是铅钡玻璃制品逐步地向铅玻璃制品的转化过程，采用模压技术生产出了用于采光的板块玻璃制品。反映出人们使用玻璃制品的思想开始转变，即从单一的生产仿玉制品向利用玻璃透明度好的特性的转变，这是中国的玻璃生产从两汉开始直至唐宋时期由铅钡玻璃逐步转变为铅玻璃的原因之一。试想，如果这一转变继续下去，作为采光用的板块玻璃的生产一定会有较大程

度的发展，必定会从根本上推动中国古代玻璃生产的进步。然而生产仿玉制品的思想是根深蒂固的，使得这种转变没有很快地加以实现，"妾莫书"墓中出土的玻璃衣片就证明了这一点。造成这一历史现象的主要原因有哪些呢？下面主要从技术的角度作些简略的探讨：

① 由于天然碱的资源少，两汉之后主要采用铅化合物作助熔剂，价格比较高。早期的玻璃制品大多数都是装饰品，是作为玉的代用品出现的，主要供上层统治阶级使用。这种质地的玻璃品当然不可能大量生产，也无法做到价廉，从客观上限制了玻璃生产的发展。

② 中国早期板块玻璃制品的生产是采用类似生产青铜器的铸造方法进行的，即用泥范浇铸而成，一范一块，劳动强度大，产量低，价格高。此外，由于没有掌握玻璃的退火技术，较大块的玻璃制造出来后容易碎裂，只能制造一些小块的产品，这些小块玻璃品作为门窗的采光之物使用，不仅使门窗的制作比较困难（增加了许多窗棂，费工费料），同时，其本身采光的优点因为玻璃块面积小、窗棂多而没有能较好地发挥出来，从而无法为广大人民所接受。

（2）程朱海等的研究结果表明，"妾莫书"墓中出土的玻璃片上的玻璃配合料粉加热熔化也能熔成玻璃，只是熔融温度比衣片玻璃高些。这说明最迟在西汉晚期中国既能生产铅钡玻璃，也能生产铅玻璃。铅玻璃的出现使人们看到，少用了一种原料（重晶石等含钡的矿物）不仅可以生产出玻璃制品，而且能生产出与仿玉制品不同的、透明度比较好的玻璃制品来，从而逐渐地摈弃了含钡的原料。少用一种原料的优点是不言而喻的。这是中国的玻璃生产从两汉开始直至唐宋时期由铅钡玻璃逐步转变为铅玻璃的原因之二。

（3）玻璃制品在中国古代一直是作为珍宝类的物品看待的，是比较稀少而珍贵的东西。与铅钡玻璃比较，铅玻璃的透明度较好；透明度较好的铅玻璃制品，外观与水晶或宝石相似，起到了代替玉制品同样的效果甚至更好，所以将其作为珍宝类物品看待的思想一直延续到明清时期。既然如此，何必再多用一种含有钡的原料呢？这是中国的玻璃生产从两汉开始直至唐宋时期由铅钡玻璃逐步转变为铅玻璃的原因之三。

9.2.4 中国铅钡玻璃的外传与日本早期的玻璃制品

一方面中国古代玻璃制造的兴起和发展受到西方玻璃的影响；另一方面是中国的玻璃生产也曾对其他国家产生过影响，如在马来西亚出土的公元元年前后中国制造的玻璃珠就是一例。近年来，由于日本一些古代玻璃制品的出土，为研究中国铅钡玻璃的外传与日本早期玻璃制品之间的关系提供了宝贵的实物资料。

1）考古发现的日本早期玻璃制品

日本早期的文化史分为绳文和弥生两个时代，两者均是根据出土的陶器命名的。绳文时代（早于公元前3世纪）的玻璃尚未发现，但在几个地点都发现了弥生时代（前3—公元3世纪）的玻璃制品。据安家瑶[5]考证，日本最早的玻璃制品出土于弥生时代中期，即公元前1世纪至公元1世纪初，相当于中国的西汉中期和晚期；其主要出土于日本的九州北部。

（1）日本九州佐贺县吉野里遗址北部坟丘墓内的一座瓮棺里，出土了一柄丁字把铜剑和75件玻璃管饰。该墓是一座身份特殊的大墓，而同一墓地的其他瓮棺中却很少有随葬品，可见，出土的玻璃管饰与铜剑是墓主人生前财富和权力的象征。管饰呈圆筒形，一般长3~4 cm，最长者达6.8 cm，色泽艳丽，透明度较好。安家瑶认为：吉野里出土的玻璃管饰是日本年代最早的玻璃，但色泽艳丽、技术成熟，没有相当技术水平的工匠是无法制出这样精美的管饰的。并从该玻璃管饰的制造方法、形制、化学成分、制造技术等方面进行讨论，认为它们是采用中国输入的玻璃料块在日本加工成型的产品。

（2）日本学者山崎一雄等[32]介绍了几例日本九州出土的早期玻璃制品，并从这些玻璃制品的化学成分、铅同位素比值等方面进行了分析，认为它们“很可能是用进口的汉代以前中国制造的玻璃块或玻璃制品在日本制作的”。

① 出土于九州北部福冈县春日市须玖冈本一座陶棺内的玻璃珠，圆柱形管状，深绿色，长约2 cm、直径0.5 cm，时代为公元前1世纪。

② 出土于福冈县饭冢市立岩28号陶棺内的呈棒状或杵状的玻璃珠，深绿色，长约3 cm、宽1.5 cm，时代为1世纪。

③ 出土于佐贺县唐津市宇木汲田106号陶棺内的圆柱形管状玻璃珠，深绿色，长0.8 cm、宽0.7 cm，时代为弥生时代后期。

2）日本早期玻璃制品的化学成分及铅同位素比值

（1）化学成分。安家瑶和山崎一雄分别介绍了几件日本九州出土古代玻璃的化学成分，现将它们与中国长沙出土的战国时期玻璃璧的化学成分一并列于表9.5中。从这几件日本出土的古代玻璃的化学成分可以看出，它们与战国时期楚国铅钡玻璃制品的化学成分基本相同，也与西汉早期江苏徐州北洞山楚王墓出土的铅钡玻璃制品的化学成分基本相同，都含有比较多的氧化铅与氧化钡。铅钡玻璃是中国古代特有的玻璃品种，所以日本九州出土的这些古代玻璃制品应是从中国传去的，至于从中国传去的是玻璃原料还是制成品，将在下面进行讨论。

表9.5 几件日本九州出土古代玻璃品及中国长沙战国玻璃璧的化学成分 (%)

出土地点	名　称	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	PbO	CuO	BaO
日本须玖冈本	管状玻璃珠	38	0.35	0.19	3.90	1.1	0.51	0.29	38.5	0.78	14
日本立岩	棒状玻璃珠	37	0.52	0.50	2.65	0.50	0.20	0.14	40.8	0.76	16
日本宇木汲田	管状玻璃珠	38.9	0.56	0.21	4.68	2.83	0.95	0.30	43.5	0.42	7.59
日本吉野里	玻璃管饰	41.2	0.46	0.25	6.82	0.42	0.27	0.06	35.72		11.43
中国长沙	战国玻璃璧	36	0.36	0.26	1.65	1.6	0.16	0.13	46.1	0.88	14

（2）铅同位素比值。山崎一雄等还对有关出土的古代玻璃制品的铅同位素比值进行了测定，R. H. Brill等也对中国生产的几件早期蜻蜓眼铅钡玻璃珠的铅同位素比值进行了测定，现将它们列于表9.6中[32-33]。

表9.6 几件中国、日本出土古代玻璃品的铅同位素的比值

出土地点	名 称	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{204}Pb$
日本须玖冈本	管状玻璃珠	0.888 1	2.193 3	17.45
日本立岩	棒状玻璃珠	0.730 1(0.05)	1.944(0.04)	22.17(0.15)
日本宇木汲田	管状玻璃珠	0.889 8	2.193 9	17.42
中国	汉代玻璃璧	0.884 6	2.193 0	17.55
中国	汉代玻璃璧	0.884 0	2.193 9	17.57
中国	早期玻璃珠	0.884 2	2.190 2	17.57
中国	早期玻璃珠	0.888 11	2.199 31	17.41

从表9.6中可以看出，日本须玖冈本和宇木汲田两地出土的管状玻璃珠的各种铅同位素比值都与中国出土的汉代及早期玻璃品的铅同位素比值相同。至于日本立岩出土的棒状玻璃珠，据金正耀等对中国出产铅矿的研究，中国普通铅中$^{207}Pb/^{206}Pb$为0.84~0.90，只有云南一些地区出产的铅矿中$^{207}Pb/^{206}Pb$为0.71~0.78。中国商代及西周时期一些青铜器中$^{207}Pb/^{206}Pb$的比值比较低，例如江西新干大洋洲出土的商代晚期青铜器中11个样品的$^{207}Pb/^{206}Pb$为0.71~0.78，因为是使用了云南的铅矿作原料而造成的[34]。可见，从各项铅同位素分析结果来看，日本九州出土的古代玻璃制品也应是从中国输出的产品或原料制成的。铅同位素分析在古代玻璃研究中的详细介绍，可参见本书第3章相关内容。

3）日本早期玻璃制品的渊源

安家瑶[5]指出："日本九州吉野里玻璃管饰的形制与中国有一定的差别。吉野里的玻璃管饰一般长3~4 cm，最长的达6.8 cm，直径0.5~0.8 cm。像吉野里这样大型的单色圆筒管在中国很少见到，应该在日本文化中寻找渊源。

"可以推测吉野里的玻璃管饰是在中国熔制好的玻璃料块，运到日本后加工成型的，而制造珠子的方法也是从中国传去的。以前，根据日本弥生后期出现的玻璃勾玉和铸造勾玉的范，可以肯定在弥生后期日本已经能够加工玻璃。"

山崎一雄等[32]指出："在福冈县的另一地方还发现一个弥生时代用以浇注逗点状玻璃珠的砂石模和与这模子相配的高BaO含量的玻璃珠，这表明在弥生时代日本和中国之间就可能进行玻璃贸易。"

从地缘的角度看，日本九州北部的福冈一带隔对马海峡与朝鲜半岛相望。中国与日本的交往在汉代或更早一些时候就已经开始，著名的徐福东渡的传说就是一例。在日本出土的许多中国汉代制造的青铜镜，表明当时中日之间的交往是存在的，汉代的玻璃制品当然可以通过这种交往从朝鲜半岛传到日本，并最早在九州北部的福冈一带出现。史树青指出[35]："已故的广州文史馆馆长陈大年同志，是一位著名的文物鉴藏家，生前在广州、

长沙等地搜集战国、秦、汉时期的琉璃器物百余件，于1959年捐赠中国历史博物馆（今中国国家博物馆）。其中有浅青色琉璃棒和柱状琉璃，皆长10 cm左右，应是制器的原料。其他如琉璃琮、琉璃盥饰等，当为在国内所制。”

这表明，在汉代或更早一些的时候，在中国的玻璃生产中不仅生产玻璃制品，也生产玻璃的半成品——玻璃料棒。这类用于制造玻璃器物的原料，通过中日交往传到了日本，对日本古代玻璃生产的兴起和发展起到了一定的促进作用。

参考文献

[1] 陈振裕.望山一号墓的年代与墓主[C]//[佚名].中国考古学会第一次年会论文集.北京：文物出版社，1978.

[2] 荆州地区博物馆.湖北江陵藤店一号墓发掘简报[J].文物，1973(9)：7-16.

[3] 崔墨林.吴王夫差剑的考究[J].中原文物.1981(特刊)：101-105.

[4] 湖北省博物馆.曾侯乙墓[M].北京：文物出版社，1989：658.

[5] 安家瑶.中国古玻璃与日本吉野里的玻璃管饰[M].北京：科学出版社，1993：415-421.

[6] 后德俊.楚国的矿冶、髹漆和玻璃制造[M].武汉：湖北教育出版社，1995：273.

[7] 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集[M].北京：中国建筑工业出版社，1986：56，140-142.

[8] 湖北省文物考古研究所.江陵九店东周墓[M].北京：科学出版社，1995：534.

[9] Brill R H，等.一批早期中国玻璃的化学分析[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1986：15-35.

[10] 干福熹，黄振发，萧炳荣.我国古代玻璃的起源问题[J].硅酸盐学报，1978，12(6)：99-103.

[11] 后德俊.谈我国古代玻璃的几个问题[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1986：59-60.

[12] 湖北省文物考古研究所.江陵九店东周墓[M].北京：科学出版社，1995：332.

[13] 史美光，何欧里，周福征.一批中国汉墓出土钾玻璃的研究[J].硅酸盐学报，1986，14(3)：307-313.

[14] 刘保昌.楚地“蜻蜓眼”式玻璃珠[N].中国文物报，1996-3-24.

[15] 赵匡华.试探中国传统玻璃的源流及炼丹术在其间的贡献[J].自然科学史研究，1991，10(2)：145-156.

[16] 孟乃昌.汉唐消石名实考辨[J].自然科学史研究，1983，2(2)：97-111.

[17] 高至喜.湖南出土战国玻璃璧和剑饰的研究[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1986：53-58.

[18] 洛阳市文物工作队.洛阳市西工区CIM3943战国墓[J].文物，1999(8)：4-13.

[19] 山东省博物馆.临淄郎家庄1号东周殉人墓[J].考古学报，1977(1)：73.

[20] 山西省文管会.山西长治分水岭战国墓第二次发掘[J].考古，1964(3)：111-137.

[21] 河北省文物管理委员会.石家庄市市庄村战国遗址的发掘[J].考古学报，1957(1)：91.

[22] 安家瑶.中国的早期玻璃制品[J].考古学报，1984(4)：413-447.

[23] 李德银.徐州发现一批重要西汉玻璃器[J].东南文化，1990(1)：109-111.

[24] 王步毅，王昌燧，林淑钦，等.安徽古玻璃璧分析[J].考古与文物，1995(5)：75-77.

[25] 山西省文管会.山西长治市分水岭古墓的清理[J].考古学报，1957(1)：103-119.

[26] 金学山.西安半坡的战国墓葬[J].考古学报，1957(3)：63-92.

[27] 王志杰，等.汉茂陵及其陪葬冢附近新发现的重要文物[J].文物，1976(7)：51-56.

[28] 熊传新.谈中国长沙出土的一件汉代玻璃矛[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1986：72–74.
[29] 安徽省亳县博物馆.亳县曹操宗族墓葬[J].文物，1978(8)：32–39.
[30] 扬州市博物馆.扬州西汉“妾莫书”木椁墓[J].文物，1980(12)：1–8.
[31] 程朱海，等.扬州西汉墓玻璃衣片的研究[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1986：65–71.
[32] 山崎一雄，等.中国古代玻璃与日本弥生时代古墓中出土的玻璃之间的关系[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1986：47–52.
[33] Barnes I L，Brill R H，Deal E C.中国早期玻璃的铅同位素研究[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1986：36–45.
[34] 金正耀，等.江西新干大洋洲商墓青铜器的铅同位素比值研究[J].考古，1994(8)：744–747.
[35] 史树青.“陆离”新解[J].文史，1981(11辑)：[页码不详].

第10章 中国黄河和长江中下游地区魏、晋、南北朝时期的玻璃技术

安家瑶

魏晋南北朝在中国历史上是一段非常特殊的时期。一方面，中国社会进入了动荡时期，战争连绵，分裂割据；另一方面，思想活跃，文化碰撞，民族融合，为隋代统一、唐代辉煌，奠定了基础。丝绸之路上的东西贸易和文化的交流，促进了东西文化的碰撞和互动。玻璃容器和饰品是从西亚输入中国的主要贸易品之一。这个时期的上层社会荒淫奢侈，彼此较量高低，西方玻璃器是"斗富"的宝物之一。地中海沿岸生产的罗马玻璃和伊朗高原制造的萨珊玻璃器皿进口增多。中国战国两汉流行的铅钡玻璃业由于没有安定的发展条件而衰落。在西方玻璃制品和玻璃技术的影响下，最晚在北魏时期，中国已采用了玻璃吹制技术。

10.1 人们对玻璃的认识

魏晋南北朝时期，现代被称为玻璃的这种材料被人们叫做琉璃、水精。虽然大部分人对这种材料认识不清，但是已有人对"这种材料是人造材料"有了正确的认识。

西晋时的文献、万震的《南州异物志》[1]记载："琉璃本质是石，欲作器，以自然灰治之。自然灰状如黄灰，生南海滨，亦可浣衣，用之不须淋，但投之水中，滑如苔石。不得此灰，则不可释。"这里的琉璃，肯定是指人工制造的玻璃，自然灰则可能是作为助熔剂的自然纯碱或钾盐。

西晋的另一文献也应受到重视。葛洪的《抱朴子》[2]记载："外国作水精碗，实是合五种灰以作之，今交广多有得其法而铸作之者。"葛洪是东晋时期著名的道家、哲学家，学识渊博，富有创见。他的巨作《抱朴子》不仅讲了道家的炼丹术，而且也记载了当时流行的宗教信仰、社会习俗和生活方式。他讲的用五种灰做成的水精碗，可以肯定是玻璃，而不是天然水晶。

从文献上看，当时的玻璃非常珍贵，多是舶来品。两汉时期，地中海沿

岸的罗马玻璃进口到中国,这一事实已经得到考古发现的证明。然而,西方玻璃器的大量东运,是在魏晋南北朝时期,这与当时统治阶级奢侈斗富之风有关。

魏晋南北朝时期,世家大族占有大量的土地和财富,奢侈成风,还互相较量,看谁家最富,称为斗富。南朝宋时代刘义庆编撰的《世说新语》[3]中有很多小故事,都是记述当时士族斗富的场面。在斗富中要向对方陈列出自己的宝物,以显示自己的地位和财富,西方进口的玻璃器是宝物中的一项。北魏的文献《洛阳伽蓝记》[4]也有类似记载:"而河间王琛最为豪首","琛常会宗室,陈诸宝器。……自余酒器,有水晶碗、玛瑙琉璃碗、赤玉卮,数十枚。做工奇妙,中土所无,皆从西域而来"。这里清楚地记载了从西方进口的玻璃碗,是北魏王琛为显示其豪富的宝器之一。

魏晋南北朝时玻璃容器被视为宝物,可能是由于那时的人们已经充分认识到西方玻璃的艺术价值,特别是晶莹透明的性质,是其他材料都难以比拟的。这个时期有不少诗文赞扬玻璃器的美丽,其中最著名的是西晋诗人潘尼的《琉璃碗赋》[5]。当时潘尼与朋友们晏饮,主人有琉璃碗,让客人们作赋赞美之,潘尼当场作赋:"取琉璃之攸华,昭旷世之良工,纂玄仪以取象,准三辰以定容。光映日曜,圆盛月盈,纤瑕罔丽,飞尘非停。灼烁方烛,表里相形,凝霜不足方其洁,澄水不能喻其清。刚过金石,劲励琼玉,磨之不磷,捏之不浊。举兹碗以酬宾,荣密座之曲晏,流景炯晃以内澈,清醴瑶琰而外见。"这首赋充分地歌颂了玻璃碗做工精良、透明度很强的特性。《世说新语》记:"王公与朝士共饮酒,举琉璃碗,谓周伯仁曰:此碗腹殊空,谓之宝器,何耶?答曰:此碗英英,诚为清澈,所以为贵耳"[3],玻璃清澈透明,所以被看作宝器。汉代的人可能还没有认识到玻璃透明之美,所以当时只用玻璃仿制彩色不透明玉石,而没有发展透明的玻璃。

由于魏晋南北朝的上层人士视玻璃容器为宝器,文献中有关玻璃器的记载明显增多。《晋书 · 崔洪传》:"帝尝幸其宅,供馔甚丰,悉贮瑠璃器中。"[6]《世说新语 · 纰漏篇》:"王敦初尚主……既还,婢擎金澡盘盛水,琉璃碗盛澡豆。"[3]

魏晋南北朝时期的文献中有关玻璃的记载增多,并不表示当时已有很多的玻璃器。正因为玻璃珍贵难得,所以文人骚客要写文章记载下来。最有意思的一首关于玻璃容器的赋,是晋傅咸写的,他讲有人送他一个玻璃卮,小孩偷偷玩弄这个玻璃卮,不小心把它掉进了脏地方,他很珍惜这个玻璃卮,可是又觉得它已经沾上污秽,不能把它继续当宝贝了。在这首《污卮赋》中他写道:"有金商之玮宝,禀乾刚之淳精,叹春晖之定色,越冬水之至清,爰甄陶以成器,逞异域之殊形,猥陷身于丑秽,岂厥善之不惜,与觞勺之长辞,曾瓦匜之不若。"[5]傅咸将玻璃与洁身自好的君子相比,君子若有污点就不成为君子;玻璃器若被玷污,也不成为宝器了。

从文献记载也可以看出,魏晋南北朝时期世族大户所视作宝器的玻璃,并不是国产的玻璃。而是来自国外的进口玻璃。这种需求,促进了对外国玻璃的进口。

10.2 罗马玻璃的考古发现

西晋鱼豢的《魏略》记有:"大秦国出赤、白、黑、黄、青、绿、缥、绀、红、紫十种流离。"大

秦就是当时文献中对罗马帝国的称呼,这个关于罗马帝国出产十种颜色玻璃的记载是很确切的。罗马玻璃在汉代已经输入中国,江苏扬州邗江甘泉2号墓出土的马赛克玻璃钵残片和洛阳东汉墓出土的缠丝玻璃瓶,是罗马玻璃在汉代输入中国的证据[8]。魏晋南北朝时期,罗马玻璃输入中国的品种和数量都有增加。



图10.1 南京象山7号墓出土的罗马玻璃杯

1)南京象山7号墓

南京象山7号墓的男棺前端出土一件完整的玻璃磨花筒形杯,直口,下腹内收,圆底。口径9.4 cm,高10.4 cm,壁厚0.5~0.7 cm。玻璃杯外壁附着一层白色风化层,玻璃无色透明,泛黄绿色,气泡较少,较小。口缘下及底部磨有椭圆形花瓣纹,腹部有七个大纵椭圆形纹(图10.1)。同墓左侧女棺前端也出土一件玻璃杯,可惜已被压碎,从碎片来看,与男棺前端的完整器的器形、质料相似,颜色稍深,呈浅黄褐色[9]。

象山7号墓位于东晋门阀豪族琅琊王氏家族墓地内,发掘者推测是东晋初年王廙的墓葬。如果此推断无误,这两只玻璃杯的年代可定为322年之前。值得注意的是,南京附近的东晋大墓中多次出土过这种质料很好的磨花玻璃,如南京石门坎六朝早期墓出土的多块玻璃残片[10]、南京大学北园东晋墓出土的玻璃片[11]和南京北郊东晋墓出土的浅黄绿玻璃片[12]。后两处出土的玻璃残片成分相似,主要为硅、钠、钙;钾和镁的含量都比较低;值得重视的是,铁的含量很低,说明原材料经过精选;含有微量的锰,说明采用了二氧化锰作为脱色剂和澄清剂,这些都反映了玻璃制造水平之高。这批南京出土的磨花玻璃器的器形、工艺和成分均相似,说明来源可能相同。这种筒形杯的器形,不是中国的传统器形,而在4世纪的罗马玻璃器中,却是常见的器形。这批玻璃器采用磨花技法,这种技法是罗马工匠熟练掌握的。中国出土的早期玻璃器皿中,采用磨花技法的比较少见,南京东晋墓出土的这一批磨花器皿是比较集中的。这种杯子及杯子上的图案和装饰技法都没有在中国同期墓葬的其他质料的器物中出现,应当考虑这批玻璃杯是西方进口的。英国大英博物馆西亚部1970年购进一件玻璃杯(No.134885)[13],其器形及腹部椭圆形磨花与象山7号墓玻璃杯都很相似。

这批玻璃的成分与德国出土的罗马玻璃相似,尤其和科隆4世纪墓葬中出土的淡绿色透明玻璃瓶中残片成分几乎完全相同[14]。那时的莱茵河流域是罗马帝国的第二个玻璃中心。

2)辽宁北票县(今北票市,下同)西官营子北燕冯素弗墓

辽宁北票冯素弗墓(415年)出土了五件玻璃器,有鸭形器、碗、杯、钵和一件残器,都很精美[15]。

(1)玻璃鸭形器。尾部稍残,其他部分基本完好无损(图10.2)。残长20.5 cm,腹径5.2 cm,壁厚0.2~0.3 cm。玻璃为淡绿色透明,内含小气泡。外表附着薄薄的白色风化层,部

分地方有蓝紫色的虹彩现象，部分器身与凸起纹饰之间附着较厚的白色或淡褐色风化层。该器形类似动物，长颈鼓腹，细长尾，张扁嘴如鸭，因此称作鸭形器。

鸭形器是无模自由吹制形成的。从玻璃炉中挑出玻璃料，经过多种多样的工序，直到吹成为止，这都要求有很高的技术；吹制这种造型复杂的鸭形器，需要更高的技术。这种动物造型玻璃器皿在中国仅出土了这一例，国外也比较少见。1—2世纪地中海地区流行一种鸟形玻璃器，是盛化妆品的，在造型上与这件鸭形器有相似之处，但器身上没有装饰。



图10.2 辽宁北票冯素弗墓出土的玻璃鸭形器

鸭形器的装饰是在炉前完成的。玻璃器成型后，又将玻璃料拉成玻璃细条，在玻璃条冷却之前缠绕在器身上作为装饰，这种装饰手法也是罗马玻璃经常采用的。阿富汗伯格拉姆遗址中发现了一批2—3世纪罗马高级玻璃器[16]，其中鱼形器的成型、装饰技法都与这件鸭形器相似，另外3世纪莱茵河流域的鱼形玻璃器和猪形玻璃器的工艺与鸭形器也相仿。

（2）玻璃碗。完整无损，高4.3 cm、口径13 cm、壁厚0.2 cm。玻璃为淡绿色，透明度好，内含气泡。玻璃的质量和颜色均与鸭形器相同，两者有可能是同一作坊的作品。碗的内壁及外壁的上半部基本光洁无锈，有轻微的虹彩现象。碗的底部与下腹部附着白色和淡褐色风化层。直口鼓腹圈足，器形不是十分规整。口沿和圈足的做法比较特殊：口沿向内折卷，呈圆唇；玻璃条粘贴成圈足，玻璃条衔接处清晰可见。碗底部正中有顶底铁杆留下的疤痕。玻璃碗的制作工艺与鸭形器基本是一样的。

（3）玻璃杯。高8.7 cm、口径9.2 cm，深翠绿色透明，质地纯净，色泽鲜丽，侈口，圆唇，凹底，底部有疤痕。这种器形的玻璃杯多出土于4—5世纪的罗马晚期墓葬。

（4）玻璃钵。高8.8 cm、口径9.5 cm，深绿色透明，质地与透明度略逊于玻璃碗。口沿部与碗相似，也是向内卷沿，圆底，因底部残缺较多，看不清是否有疤痕。玻璃表面有虹彩现象。罗马玻璃中这种圆底钵的年代一般定在3—4世纪。

（5）玻璃残器。直径7.4 cm，玻璃的质料、颜色与钵相似。

这几件玻璃器皿的工艺相似，都是无模吹制成型，采用了顶底铁杆技术，口沿内卷成环状，这些工艺都是罗马时期常用的玻璃工艺。玻璃的熔制水平较高，尤其是碗和杯，气泡和杂质都很少，透明度好。从器形上看，碗的器形不太典型，国内外都有；杯和钵的器形国内罕见，在罗马时期的地中海沿岸常见。

冯素弗墓出土的五件玻璃器中，残破复原了的钵经作成分分析，是钠钙玻璃，与罗马玻璃的基本组成相似，只是钾、镁的含量略高。鸭形器、玻璃碗和玻璃杯均经过电子探针检测，为普通的钠钙玻璃。

总之，这五件玻璃器皿可以归类到罗马玻璃中，它们的具体产地还有待进一步研究。此外，冯素弗墓还出土一些玻璃珠，尚未发表。这些玻璃珠是与玻璃容器来自同一产地，还是

另有来源,有待于今后的研究。

3）河北景县封氏墓群

河北景县封氏墓群中出土4件玻璃碗，现存2件，一为封魔奴墓出土，一为祖氏墓出土[17]。祖氏墓出土的淡绿色波纹碗非常精致，内外壁附着白色风化层，腹部缠贴3条波浪花纹作为装饰，每条波纹有10个波峰，3条波纹互相衔接形成网目纹。口沿内翻卷成圆唇，底部缠玻璃条成矮圈足，底部有疤痕（图10.3）。这件玻璃碗的口沿、圈足、缠玻璃条的装饰手法均与冯素弗墓出土的玻璃器相同；不同的是，这件碗做得更为规整。器壁很薄，约0.2 cm，内壁很光滑，外壁有明显的水平纹理。这件玻璃碗经X射线荧光定性分析是普通的钠钙玻璃，与罗马玻璃的一般组成相符。

装饰技法与祖氏墓波纹碗相似的玻璃器，国外发现较多，黑海北岸5世纪的罗马遗址出土过许多波纹、网纹玻璃残片，俄罗斯南部还出土过一件完整的波纹高足杯，制造工艺和装饰技法与祖氏墓的波纹碗相似[18]。另外，朝鲜半岛庆州的瑞凤塚[19]及皇南98号古坟[20]，也出土了工艺相似的波纹玻璃杯。中国和朝鲜半岛出土的这些玻璃器皿，可能都是来源于罗马时期的黑海北岸。

封魔奴墓出土的玻璃碗，残破复原，绿色透明，风化较厉害，风化层呈金黄色，风化层剥落处的表面凹凸不平，有虹彩现象，玻璃的气泡较多，直口圆唇，腹部有一道细阳弦纹，矮圈足，底部有疤痕（图10.4）。

这件碗是无模自由吹制成型，圈足及腹部的弦纹都是缠绕热玻璃条而成，与冯素弗墓出土的淡绿色玻璃碗的制作工艺相似，不同的是此件碗的口沿没有内卷，而是将口沿火烧成圆唇。X射线荧光分析其主要成分与祖氏墓波纹碗的成分相似，不同的是此碗中含有较多的锡。朝鲜半岛庆州瑞凤塚除了出土一件波纹杯外，还出土了两件蓝玻璃碗，器形与封魔奴墓出土的碗非常相似，只是颜色不同。瑞凤塚的蓝玻璃碗也做了X射线荧光分析，从分析结果来看，属于一般钠钙玻璃，值得注意的是其也含有一定量的锡。封魔奴墓与瑞凤塚出土的玻璃碗器形和成分上的相似，说明它们的来源相同，可能都是罗马玻璃。

从中国出土的罗马玻璃器，可以看出罗马玻璃的发展概况。公元前1世纪中叶至公元1世纪，是罗马玻璃的早期，那时的罗马玻璃仍然是一种贵族阶层享用的奢侈品。玻璃吹制法

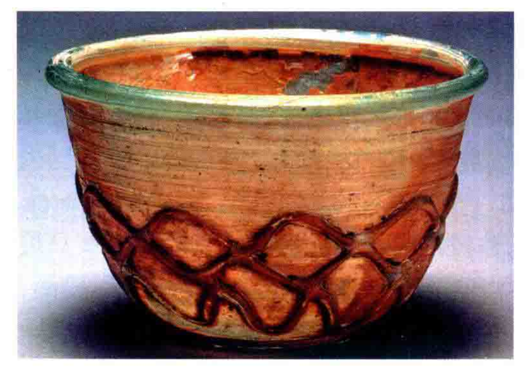


图10.3　河北景县北魏封氏墓群祖氏墓出土的波纹玻璃碗



图10.4　河北景县北魏封氏墓群封魔奴墓出土的玻璃碗

虽然已经发明，而且越来越广泛地采用，但这个时期的大多数玻璃器仍然是用铸造型压法。彩色不透明或半透明的玻璃占统治地位。中国东汉墓出土的马赛克玻璃和吹制缠丝瓶都是早期罗马玻璃的精品。

2世纪和3世纪是罗马玻璃的中期，这个时期的玻璃数量骤增，玻璃器不再仅是奢侈品，已经开始成为普通人可以使用的日常用品。玻璃器一般都采用吹制成型法，玻璃的透明度增高了，装饰手法也多种多样。中国出土的玻璃器中比较缺乏这个时期的产品。

4世纪和5世纪是罗马玻璃的晚期。罗马帝国晚期的政治不稳定，各行省割据的状态也反映到玻璃生产上。行省之间产品的差距越来越显示出来。中国魏晋南北朝时期出土的罗马玻璃多属于罗马晚期偏东部行省的产品。

10.3 萨珊玻璃的考古发现

魏晋南北朝时期，进口到中国的玻璃器中有相当一部分来自伊朗高原。伊朗高原的玻璃制造业历史悠久，公元前1000年前后，在两河流域的影响下就开始生产玻璃珠饰等。1世纪开始生产吹制玻璃器皿。3—7世纪是伊朗高原玻璃业最为兴旺发达的时期，除了生产大量玻璃珠饰、纺轮外，还制造精美的高级玻璃器皿，供上层社会享用和出口。由于这个时期主要是萨珊王朝时期，一般将它们称为萨珊玻璃[21]。萨珊玻璃器皿造型浑朴，喜欢用连续的圆形作为装饰，与萨珊时期流行的联珠纹相似。萨珊玻璃工艺继承了罗马玻璃工艺的特点，特别是发展了冷加工的琢磨工艺，在玻璃碗上琢磨出凹球面或凸起的凹球面，形成一个个小凹透镜。透过碗前壁的凹球面装饰，可以看到后壁的数个小圆形装饰，充分地表现出玻璃变幻莫测之美。

萨珊玻璃的发现及研究虽然较晚，但在世界玻璃史上占有重要地位，它填补了罗马玻璃衰落之后、伊斯兰玻璃兴起之前玻璃制造史上的空缺。萨珊玻璃在世界玻璃中心由西向东转移的过程中是重要的过渡，在继承和发展玻璃工艺上起到承前启后的作用。

1）北京西晋华芳墓

北京西晋华芳墓出土的玻璃碗是来自伊朗高原的萨珊玻璃。1965年，北京市文物工作队在北京八宝山发掘了华芳墓。墓中出土的西晋骨尺等是人们非常重视的，而对同墓出土的玻璃残片却没有进行及时的研究。原报告报道："料盘一件，残碎不全，观其口沿和底足，是盘形器，足作乳头状，从两足间距及弦度推测，该盘应有八足，盘口径为10.4 cm，盘壁极薄，断面呈绿色。"[22]这件玻璃器的真实面貌是后来才被人们认识的。中国社会科学院考古研究所技术室的丁六龙仔细拼对了该墓的玻璃残片，成功地复原了这件玻璃碗。这件碗圆底，球腹，颈部微收，侈口。高7.2 cm、口径10.7 cm，腹部有10个椭圆形乳钉作为装饰，乳钉列为一排。乳钉不很规整，一般高出碗外壁5 mm，长径10~15 mm、短径5~11 mm，其中8个乳钉的长径平行于口沿，另外2个乳钉的长径垂直于口沿。底部有7对凸起的刺排成椭圆形，刺高2 mm，这些刺既是装饰又是足，能使圆底得以放稳。

这件玻璃碗为淡绿色透明，内含较多气泡和条纹，气泡大小不一。由于气泡多，玻璃的透明程度不太好。内外壁风化不很明显，有轻度的虹彩现象，碗壁较薄（1~2 mm），口沿部分

特别薄。腹部乳钉有明显的水平条纹，与器身玻璃的条纹不一致。根据这些情况可以推测，这件玻璃碗是无模自由吹制成型，底部的对刺是成型后在炉边趁热用小钳子夹挑出来的，腹部的乳钉是用烧软的玻璃条趁热粘贴上去的。

中国社会科学院考古研究所化验室和中国建筑材料科学研究总院分别对这件碗的残片进行了化学定量分析，其结果与伊朗玻璃成分相符。

日本东京大学伊朗、伊拉克遗迹调查团在伊朗高原的文物发掘中，发现过这种乳突装饰碗。一般是无模吹制成型的薄壁碗，侈口，颈微收，圆底，腹部和底部有乳头状凸起装饰，类似贝壳表面。例如哈桑尼马哈拉（HassaniMahale）7号墓出土一件完整的凸起装饰玻璃碗，腹部最大腹径处有9个类矩形乳钉，下腹部有10个细长的龙骨凸起，底部有10个小乳突围成一圈，代替圈足[24]。这种装饰是在玻璃炉前趁热粘贴或用钳子夹出来的。

这种乳突玻璃碗在伊朗高原的流行时期很长，从1世纪到5世纪的墓葬都有出土，帕提亚王朝（安息王朝）晚期最为流行。

北京这座墓的墓主人华芳是西晋幽州都督王浚的夫人，葬于永嘉元年（307年），当时的幽州统管着河北北部和辽宁，作为幽州都督的夫人，当然属于权贵，在她的墓葬里出土伊朗高原的玻璃是不足为奇的。

2）湖北鄂城五里墩121号墓

湖北鄂城五里墩121号墓出土一件磨花玻璃碗。根据该墓葬的形制和共出器物，被推断为西晋墓（265—316）。玻璃残片无色透明，稍泛黄绿色，透明度好，有小气泡。中国社会科学院考古研究所技术室将残片复原，是圆底玻璃碗，高9.5 cm、口径10.4 cm、腹径11.5 cm，球腹圆底，口沿外翻成侈口，平唇。腹部有四排磨花，磨花为椭圆形稍内凹的小平面，靠近底部的一排为8个磨花，底部也有一圆形内凹的磨花。口沿下有两条细阴弦纹，第一、第二排磨花之间也有一条较宽的阴弦纹（图10.5）。

这种器形的玻璃碗在中国不多见，可是在伊朗高原吉兰州的3—7世纪的墓葬中却出土了一批[24]。另外日本新沢千塚126号墓（4世纪末）也出土了一件磨花碗[25]。其器形、工艺、装饰法与鄂城玻璃碗完全一样，不同的是鄂城西晋墓的碗口沿被磨平，而新沢千塚126号墓的碗口沿经火烧成圆唇。这种玻璃碗按壁的厚薄分为两种类型，鄂城碗和新沢千塚126号墓碗都属于薄壁型，是无模自由吹制成型的。对于这种圆形磨饰的玻璃碗，日本学者已做了详尽的研究，认为是伊朗高原吉兰州3—7世纪的产品，并得到国际学术界的公认。鄂城西晋磨花碗的残片经化学分析，其成分与日本新沢千塚126号墓的磨花碗的成分几乎完全一致。新沢千塚碗与东京大学伊朗、伊拉克遗迹调查团在伊朗高原采集的同类型碗的残片，经用原子吸收法来比较其成分，结果是相近的。这进一步证明了这种类型的玻璃碗是萨珊玻璃。



图10.5　湖北鄂城121号墓出土的玻璃碗

鄂城121号墓是西晋墓葬，其年代不会晚于4世纪初，因此这件玻璃碗是最早输入东方的萨珊

玻璃之一。

3）南京市富贵山东晋墓

1997年，南京市博物馆在南京市城东太平门，即富贵山西南麓发掘6座六朝时期的墓葬，其中东晋墓M4出土了一件玻璃碗[26]。淡蓝色透明。圆唇，侈口，束颈，球腹，圆底稍内凹。20条隐隐隆起的凸棱从底部延伸到下腹部。这件玻璃碗没有经过化学检测，但从器形及底部凸起的装饰来看，很可能是来自伊朗的萨珊玻璃。

4）南京仙鹤观6号晋墓

南京仙鹤观6号晋墓出土了2件玻璃碗。其中一件复原后，为磨花玻璃碗，淡黄色透明，器形与鄂城121号墓玻璃碗相似，侈口，束颈，球腹，圆底。纹饰与鄂城121号墓玻璃碗稍有差别，腹部三排纵椭圆形凹球面磨饰，上下相错，排列较稀疏。南京仙鹤观6号晋墓出土的玻璃碗的来源也应该和鄂城碗一样，为伊朗高原的产品。

5）江苏句容春城刘宋墓

江苏句容春城刘宋时期一墓葬出土一件磨花玻璃碗，该墓的墓主人刘宗，埋藏的年代为刘宋元嘉十六年（439年）[27]。这件碗的器形为侈口，颈微收，球腹，圆底，口径8.5 cm、腹径9.1 cm、高6.3 cm。腹部有6排小凹球面作装饰，由于6排小凹球面有规律地相互错叠，所以从正面看不是成排的联珠纹，而是由小六边形构成的龟甲纹。碗的底部也有一个外缘呈五边形的凹球面。这件玻璃碗无色透明，几乎不含任何色调，内含气泡少而小，像水晶一样洁净晶莹，说明玻璃原料经过精选，熔制温度比较高。碗壁较薄，器形规整，可能是有模吹制法成型的。碗的腹部和底部的纹饰都是采用冷加工工艺、琢磨抛光而成的。

这件玻璃碗的器形与鄂城121号墓玻璃碗一样，腹部的纹饰与日本奈良正仓院收藏的白琉璃碗一样，小凹球面互相错叠，构成六边形的龟甲纹，是伊朗高原萨珊王朝的典型产品。

玻璃是易碎材料，古代玻璃更是娇脆。正是由于玻璃的脆性，历史上的许多玻璃珍品没能保存下来。中国出土的完整玻璃器皿大多保存在石棺或石函中，句容碗在木质棺椁中居然完好地保存下来真是一个奇迹。一般来说，玻璃的化学稳定性比较好，但在潮湿的环境里，尤其在碱性土壤中，天长日久，玻璃里的硅酸钠就会水解、析出。因此，出土的古代玻璃表面往往受到严重的侵蚀：或凹凸不平，出现虹彩现象；或附着厚厚的风化层。句容玻璃碗的外表在多年化学侵蚀的影响下仅稍稍发乌，没有附着风化层，也没有明显的虹彩现象，这可能是由于1 500多年来它一直浸泡在酸性水中的原因。伊朗高原出土的100多件类似玻璃容器，大多失去了当年的光泽和丰彩，无法与句容春城出土的这件玻璃碗媲美。因此，可以说这件玻璃碗是世界现存的最精美的萨珊玻璃器之一。

6）山西大同北魏墓

山西大同南郊北魏时期墓葬M107中出土一件玻璃碗[28]（图10.6），器形为侈口，颈微收，球腹，圆底，与句容玻璃碗相似。口径10.3 cm，腹径11.4 cm，高7.5 cm。碗的腹部和底部均有磨饰，图案稍有变化。腹部共4排磨饰，上部3排磨饰为纵椭圆形凹球面磨饰，长径1.3~1.5 cm、短径0.7 cm左右，每排35个，上下相错。最下一排为6个横椭圆形凹球面磨饰，长径约3.1 cm、短径2.8 cm。圆底中心为一个直径3.4 cm的圆形凹球面磨饰。玻璃碗无色透明，稍泛黄色，内含气泡很少，是质量很高的萨珊玻璃。保存状况也相当好，除外壁略有风

化斑点外，其余部分光洁如新。

大同南郊北魏时期墓葬M107除了出土这件玻璃碗外，还出土了银罐、鎏金刻花银碗、金耳环、玻璃珠等，都表现了很强的异域特色。特别是鎏金刻花银碗壁上捶拓出四个人像，虽形象各异，皆深目高鼻、西方人的形象和服饰。由拓跋鲜卑建立的北魏，统一北方各国，成为第一个可以和南方汉族政权对峙的少数民族政权。北魏政权在平城（今山西省大同市）近百年的经营中，大力学习汉族文化，并占领控制了河西地区，使丝绸之路向东延伸到平城。依据出土的陶器和墓葬形式，M107的年代应早于孝文帝执政，即不晚于5世纪中叶。在大同北魏时期的贵族墓葬中出土萨珊玻璃，说明北魏与西亚关系相当密切。



图10.6　山西大同南郊北魏墓群M107出土的玻璃碗



图10.7　宁夏固原北周李贤墓出土的凸雕玻璃碗

7）宁夏固原北周李贤墓

1983年秋，宁夏博物馆和固原县文物工作站在固原县（今宁夏固原市原州区，下同）发掘了北周天和四年（569年）李贤夫妇墓，出土了一批珍贵文物，其中包括一件完整的玻璃碗[29]。玻璃碗的口径9.5 cm，高8 cm，腹深6.8 cm，下腹最大径9.8 cm。碗外壁饰凸起的圆圈图案两排，上排6个、下排8个，上下错位。玻璃为淡黄色，内含气泡，气泡都很小，直径一般不超过0.5 mm，气泡分布均匀，不见明显的条纹、结石，透明度好。碗内壁光洁无锈，外壁有风化层，主要分布在下腹部和底部，风化层呈金黄色。口沿有水平磨痕。碗壁厚约4 mm，凸起纹饰最厚处为7 mm。腹部凸起的圆形纹饰不很规整，有的呈长椭圆，有的呈扁椭圆，一般长径27~29 mm、短径25~26 mm。圆饰面呈凹球面，貌似吸盘，从一处圆饰可透视对面三个同样的圆饰。圆饰基本成排，略微错落不齐，圆饰之间的距离也不完全一致。底部的圈足也是由一个直径31 mm的凸起凹球面构成（图10.7）。玻璃碗重245.6 g，密度2.46 g/cm^3，经X射线荧光分析无损检测，不含铅钡。从密度和X射线荧光检测结果来看，这件玻璃碗是钠钙玻璃。

这件玻璃碗的颜色较浅，透明程度好，气泡小，反映了玻璃的原料比较纯净，含铁低，熔制温度较高。碗腹部的凸起圆形纹饰与碗壁浑然一体，说明纹饰不是成型后补加上去的，而是一次成型。碗内壁光洁无锈，无打磨抛光痕迹，外壁磨痕明显，方向多是水平和垂直的，碗壁厚薄不匀，暗示了这件碗是吹制成型的厚壁碗，外壁经琢磨变薄，留下两排圆形纹饰和底部，形成凸起的效果，圆形纹饰的面又被琢磨成凹球面。琢磨后的玻璃碗通体经

过抛光，但有些部位不易被抛光，磨痕仍清晰可见。这种厚壁的玻璃碗很可能是有模吹制成型的。

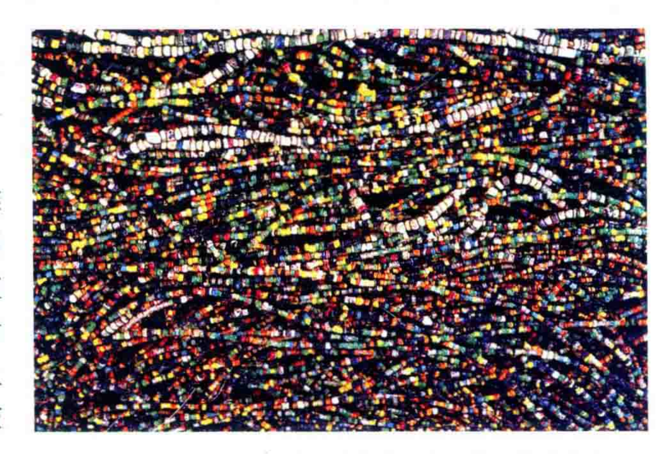
李贤墓出土的这件玻璃碗原料纯净，熔制水平较高，采用了冷加工的琢磨工艺，纹饰独特，是萨珊玻璃的精品。李贤墓还出土了鎏金银胡瓶和青金石金指环，为东西贸易史的研究提供了宝贵的资料。

10.4 印度玻璃珠随佛教的传入

1994年冬，中国社会科学院考古研究所洛阳汉魏故城工作队在发掘北魏永宁寺的西门遗址时，发现了15万余枚小玻璃珠。发掘报告将这些小玻璃珠归类于料器串珠[30]："出于西门遗址。出土时已散，散乱地混在灰土内，但分布十分集中。经清理，共清出大小珠15万余枚（T53：4994）。其中除极少数或为水晶珠、玛瑙珠外，其余皆为料（玻璃）珠，分别呈各种红、蓝、黄、绿及黑色，色泽异常鲜艳。珠体最大的，直径约0.35 cm，小的直径不足0.1 cm。此类料珠，皆作扁圆形，中有穿孔，当系由细管状料切割而成。"

安家瑶有幸到洛阳汉魏故城工作队考察了这批珠子。这批玻璃珠为不太规则的圆柱形，直径1～5 mm、孔径0.5～2 mm、高1～6 mm。直径等于或小于3 mm的珠子约占95%以上。这批珠子五彩斑斓，但每一枚珠子只有一种颜色，可称为单色珠。由于珠子数量大，全部进行统计比较困难。安家瑶随机统计了1 000枚珠子的颜色，发现黑色玻璃珠的数量最多，占总数的31.2%；其次为绿色半透明的，占17.9%；黄色不透明的占15.8%；砖红色不透明的占14.3%；无色透明的占7.2%；深蓝色透明的占4.3%；白色不透明的占3.8%；天蓝色半透明的占3.6%；豇豆红色不透明的占1.9%。无色透明和深蓝色珠子的透明度较好，可以看到少量气泡和未融的杂质。黑色、黄色、砖红色和豇豆红色珠子呈不透明状。深蓝色透明珠子的表面多附着一层白色不透明的风化层，其余颜色的玻璃珠艳丽如新（图10.8）。

这批玻璃珠的制作方法很特殊，是将熔融的玻璃液用特别的工具拉成空心的细管，再将细管截成小珠子。这种玻璃珠的制作方法被称作拉制法。拉制法制成的珠子可以看到以下特征：① 珠子的基本形态为圆柱形；② 玻璃中气泡为椭圆形，气泡长径的方向与穿孔是平行的；③ 穿孔内壁一般是光滑的，没有黏结物。


图10.8 河南洛阳北魏永宁寺遗址出土的印度玻璃珠

中国考古出土的玻璃珠中很难见到这种拉制法制成的珠子。中国玻璃珠生产一直使用缠心法：即将玻璃料条在火焰上烤到可塑状态，然后缠绕到金属丝上，成珠状。金属丝上多附着一层黏土或其他材料，以便玻璃珠冷却后可以从金属丝上取下来。

这种方法制成的珠子形态多不规整，有时能看到玻璃丝缠绕的痕迹，珠子穿孔的内壁往往残留黏土，玻璃内气泡也呈椭圆形，但长径的方向与穿孔垂直。中国自战国初年即掌握缠心法制造玻璃珠的方法，而且这种制珠传统一直流传到今天。

这批珠子中有7枚做了化学成分检测，是钠钙玻璃，但Al_2O_3的含量特别高，6枚高出10%；CaO含量相当低[31]。CaO在玻璃中是起稳定作用的，一般认为CaO含量高于6%，玻璃的化学稳定性才比较好，令人惊奇的是这批玻璃珠的CaO含量低于5%，经千余年埋在地下，出土时保存状况却很好，说明其玻璃稳定性相当好，这个现象值得玻璃工艺科学家深入研究。

这批玻璃珠在中国中原地区并不多见，但在南亚、东南亚、中国东南沿海以及朝鲜半岛南岸都有发现，延续的年代也相当长。美国学者彼特·弗朗西斯是多年从事玻璃珠研究的专家，他称这类珠子为印度洋—太平洋玻璃珠，这是以其分布的区域而命名的。他认为印度洋—太平洋玻璃珠首先是在印度Arikamedu生产的，这个地区是亚洲的一个玻璃珠制造中心，兴盛时期大约从公元前3世纪持续到公元10世纪。这类玻璃珠及玻璃珠生产技术沿海岸向东传播。斯里兰卡的曼泰（Mantai）自1世纪起也成为生产这类珠子的一个中心，并一直延续到10世纪。泰国的克拉比（KuanLuk Pat）2—6世纪的遗址多出土这类玻璃珠，有可能当地已掌握了这类玻璃珠的生产技术[32]。离生产中心最远的发现地是朝鲜半岛，在1—3世纪的金海贝塚，就发现了这类玻璃珠。6世纪的武宁王陵也发现了这类珠子[33]。这类玻璃珠准确地反映出贸易和文化交流的路线。遗憾的是这类珠子的研究并没有引起足够的重视。虽然发现了不少珠子，但大多数不是经过考古发掘出土的，其年代不能确定。经过化学检测的珠子，更是微乎其微。因此目前我们还无法确定永宁寺玻璃珠的产地，只能模糊地说是印度玻璃珠。

北魏永宁寺遗址出土来自印度的玻璃珠不是偶然的。南北朝时期是中国佛教全面持续高涨的时期，北魏诸帝除太武帝外无不扶植佛教。北魏迁都洛阳后，洛阳成为佛教中心。据《洛阳伽蓝记》《魏书·释老志》记载，至北魏末年，仅洛阳城内就有寺院1 367所。佛教法华经中经常提到的璎珞、衣珠、数珠等都离不开珠子。在洛阳北魏永宁寺遗址发现了印度玻璃珠，正反映出北魏时期中印佛教文化交流的频繁。

10.5 新疆发现的西方玻璃

中国新疆位于东西交通的要道，是罗马玻璃和萨珊玻璃陆路输入中原的必由之路。在新疆的很多重要遗址上多次发现西方玻璃残片，其中有典型的罗马玻璃，也有典型的萨珊玻璃。

1）楼兰遗址玻璃残片

新疆发现了较多的罗马玻璃残片。安家瑶在新疆维吾尔自治区博物馆见到在楼兰遗址上采集到的数块玻璃残片[34]。其中一块为器壁残片，淡黄绿色透明，带有长椭圆形花瓣式磨饰。一块是玻璃杯口沿残片，淡黄色透明，带有弦纹和椭圆形磨花。从这两块残片的玻璃质地及磨花的风格来看，与南京象山7号东晋墓出土的磨花杯非常相似。同时采集的

还有两块无纹饰的玻璃容器残片，一为残口沿，乳白色半透明；一为腹部残片绿色透明。对这两块没有纹饰的残片做了成分定量分析，结果与南京东晋墓玻璃残片的成分、与3—4世纪罗马玻璃的标准成分都十分接近[35]。1980年，新疆文物考古研究所在楼兰遗址也采集了一些玻璃残片，其中一块有菱形磨饰的残片，残长4.5 cm、残宽2.2 cm，是平底侈口高杯的腹部残片[36]。日本学者谷一尚认真地研究了世界上现存的菱形磨饰的平底侈口高杯，认为在楼兰遗址采集的菱形磨饰残片与欧洲北部1世纪中叶到2世纪上半叶的罗马玻璃高杯最为接近[37]。从这种早期罗马玻璃的菱形磨饰高杯的分布可以看出，当时的贸易路线是经过黑海北岸、伊朗北部、伊拉克的西北、印度的西北到达新疆的。新疆文物考古研究所在墨玉县达娃乡西沙漠遗址之东还采集到一些玻璃片，其中两块口沿外翻折成圈唇，一块口沿残片、口沿下有缠丝作为装饰，一块无色透明玻璃残片的口沿处缠上一圈深蓝色，这些玻璃残片都具有罗马玻璃器的特征。

20世纪初，斯坦因在新疆楼兰遗址L、K地点的一座墓葬中发掘了一件玻璃杯。据《亚洲腹地》一书记载，这件玻璃杯浅绿色透明，平底侈口，腹部有三排圆形纹饰，圆形面呈凹球面。靠近底部的一排圆饰为七个。杯高5.6 cm，口径6.7 cm，底径2.4 cm[38]。斯坦因当年将他发掘的所有文物都带出中国，这件玻璃杯至今下落不明。

2）且末县扎滚鲁克墓的玻璃杯

1996年，新疆维吾尔自治区博物馆在且末县扎滚鲁克1号墓地49号墓中发现一件玻璃杯，高6.8 cm、口径6.8 cm，淡绿色透明，侈口圆底，外壁有三排椭圆形磨饰，底部也有一个较大的圆形磨饰。这件玻璃杯的器形与纹饰和斯坦因在楼兰遗址发现的玻璃杯非常相似。发掘者推断扎滚鲁克1号墓地的年代为东晋时期。扎滚鲁克墓的玻璃杯经过科学检测和对比研究，被认定为罗马玻璃[40]。

3）尉犁县营盘墓的玻璃杯

1995年，新疆文物考古研究所在尉犁县营盘9号墓也发现一件类似的玻璃杯（图10.9）。玻璃杯高8.8 cm，口径10.8 cm。杯内外壁均附着厚的灰白色风化层，但从杯口破碴观察，玻璃质量好，淡黄色透明。玻璃杯侈口圆底，腹部有两排椭圆形磨饰，底部也有一个较大的圆形磨饰。营盘墓地位于罗布泊西侧塔里木河下游三角洲，是丝绸之路“楼兰”道的要冲。营盘墓地的年代为汉晋时期，出土文物包容了古代东西方文化的因素[39]。



图10.9　新疆尉犁营盘9号墓出土的玻璃杯（汉—晋）

以上三件玻璃杯的磨饰，特别是靠近底部的一排七个圆形磨饰，是伊朗高原萨珊玻璃的风格。

1969年伊朗考古研究中心在里海岸边的诗曼姆（Shimam）也发现过

相似的玻璃杯,墓葬的年代被定在帕提亚晚期,即大约3世纪[41]。

然而,营盘9号墓玻璃杯的残片经过化学检测,Na_2O高达19.67%,K_2O仅含0.59%,是典型的罗马玻璃成分。因此,这种圆形磨饰高杯很可能是罗马玻璃。

萨珊玻璃残片在新疆发现得更多一些,比较典型的是带圆形磨饰残片,斯坦因曾采集了几片。萨珊玻璃的另一种典型器物——凸雕玻璃的残片也在新疆发现。

4)巴楚脱库孜萨来遗址的玻璃残片

新疆维吾尔自治区博物馆在巴楚脱库孜萨来遗址的佛寺中采集到两块凸雕玻璃残片,根据佛寺的残佛头像判断,该遗址的年代为4—5世纪[35]。较大的一块玻璃残片长约6 cm、宽约4 cm、厚3~4 mm,是一件玻璃容器的腹部残片。上面有两个凸起的圆形装饰,其中一个直径约为3.5 cm,圆饰面呈凹球面;另一个凸起圆形装饰较小,直径约0.7 cm,圆饰面平坦不内凹,圆饰面高出器壁约3 mm。较小的一块玻璃残片同属于一件容器腹部,上面也有两个凸起的圆形装饰,都是小圆装饰,直径为6~7 mm。

5)尼雅遗址出土的玻璃珠饰

新疆出土的玻璃珠饰数量繁多,比较集中出土于汉晋时期的墓葬。这个时期的玻璃珠子以单色为主,多彩的镶嵌玻璃珠也偶有发现。

1995年新疆文物考古研究所在民丰县尼雅遗址新发现一处墓地,编号为95MNI号墓地,共发掘了八座墓葬,其中M8出土了"五星出东方利中国"织锦护臂,引起国内外强烈关注[42]。M8还出土玻璃珠饰,品类繁多,主要见于男女墓主人头颈部,应为用于装饰的项链和头饰。如男主人头部所出的蓝色玻璃珠,用细毛线穿系,玻璃珠外表多附着白色风化层。女主人头颈部出土的耳饰和项链,均用玻璃珠穿系而成。四颗镶嵌玻璃珠也在M8出土,珠体及镶嵌眼的颜色各不相同。这批玻璃珠的来源还有待进一步探讨。

6)尼雅N8聚落遗址发现的玻璃角形杯

2007年在尼雅N8聚落遗址新发现的玻璃角形杯是一件罕见的高档玻璃器。玻璃器呈角状,底部尖,稍弯曲。玻璃无色透明,稍泛黄色。腹部下方缠贴两道波浪纹,腹部上缠贴三道弦纹。方口径4.3 cm,长19.8 cm,最大腹径5.2 cm[43]。于志勇将这件角形杯定名为来通(Ryhton),与西安何家村窖藏出土的玛瑙兽首杯进行了比较。犀角杯来源于西方,克里特岛在公元前1500年已出现此种器形的器物,希腊人称此为"来通"。当时人们相信来通犀角杯是圣物。伊辛斯在她的著作《年代确切的罗马玻璃》一书中,将两件玻璃角形杯也定名为来通,器形定为73a和73b型[44]。随着玻璃角形杯发现得越来越多,学者们也逐渐倾向于称之为玻璃角形杯。美国康宁玻璃博物馆收藏的三件罗马玻璃角形杯,年代定为1—2世纪[45]。欧洲莱茵河流域是罗马玻璃的另一个生产中心,德国科隆罗马-日耳曼博物馆藏有大量罗马玻璃。在其收藏的2、3世纪的罗马玻璃器中也有三件玻璃角形杯,年代均定在3世纪。在此博物馆中还收藏一件4世纪初的玻璃角形杯,装饰有缠丝、点蓝和掐纹[46]。

7)营盘出土的人面玻璃耳饰

营盘出土的一件人面玻璃耳饰99BYYM22:20,特别引人注意。耳饰呈扁椭圆形,长径1.05 cm、短径0.8 cm、厚0.5 cm,有穿孔。由白、黑、红、蓝四种颜色玻璃制成,其中间显示人

面纹，边缘为放射状纹样。玻璃耳饰出自墓主耳边，和其他珠子及一个草圈共同连缀成耳饰[47]。这件人面玻璃耳饰是做工很复杂的马赛克玻璃。学术界一般认为，这种人面纹马赛克玻璃珠饰或板饰的产地是罗马帝国埃及行省的亚历山大城，年代大约是公元前1世纪末至公元1世纪中叶。美国康宁玻璃博物馆收藏一件马赛克玻璃板饰，中间的人面据研究是戏剧的脸谱[48]。与营盘出土的人面耳饰更相似的是埃内斯托沃尔夫收藏中的第153号和第154号[49]，其形状和尺寸都很相仿，特别是第153号人面周围的放射状纹，使人不能不推测这些马赛克人面玻璃珠饰出自同一产地。罗马统治时期，亚历山大城是埃及行省首邑，也是罗马帝国境内仅次于罗马的第二大城。在中西交通史上，亚历山大城是丝绸之路西端的终点站之一，由中国运来的丝绸到此经海路转运罗马乃至欧洲各地。亚历山大城是罗马玻璃制作中心，以玻璃器皿和马赛克玻璃珠饰闻名。如果营盘出土的人面玻璃耳饰是亚历山大城的产品，其传播路线会引起更多学者的关注。

10.6 中国的国产玻璃

与进口的罗马玻璃和萨珊玻璃相比，魏晋南北朝时期的国产玻璃器发现得很少，仅发掘出土一些单色玻璃珠饰。看来，汉代建立起来的较大规模的以铸造成型为主的铅钡仿玉玻璃业在社会大动荡中已经衰退。北魏时期，出现了一批采用吹制成型的国产玻璃容器，这一新的玻璃成型工艺的采用，与东西文化技术交流的大环境分不开。

1）河北定县（今定州市，下同）北魏塔基出土的国产吹制玻璃容器

定县北魏塔基石函（481年）出土了七件玻璃器皿[50]，从这一批器皿的玻璃质量和制作工艺来看，可能属于同一个来源。其中玻璃钵（图10.10）的制作工艺水平最高。天青色透明，气泡较多，表面附白色风化层。敛口圆唇，鼓腹，圆底。钵高7.9 cm，口径13.4 cm，腹径14.7 cm，器壁最薄处0.2 cm，底部最厚处0.5 cm，口沿处厚0.3 cm。

两件玻璃瓶，一件高4.3 cm、腹径4.9 cm；另一件高3.4 cm、腹径4.8 cm，都是天青色透明，器壁特别薄，约0.1 cm，有密聚的气泡，器壁附白色风化层。小口圆唇，短颈，鼓腹圆底，其中一个有圈足。葫芦形小玻璃瓶三件，浅蓝色透明，腹作球形，上有长颈，颈口捏弯成短勾状。葫芦瓶高5.3 cm，下部球径2.1 cm。残器一件，底径4.8 cm、壁厚0.1 cm。天青色透明，气泡多，平底，器壁内敛，可能是盂类。


图10.10 河北定县北魏塔基出土的玻璃钵

这几件玻璃器都采用了无模自由吹制成型，钵的口沿采用了烧口技术，瓶子的口沿似内卷成圆唇，缠贴玻璃条为圈足，这些玻璃技术都是罗马玻璃和萨珊玻璃的传统技术，中国北魏以前出土的玻璃器上从未采用过这些技术，但北魏以后却一直沿用了下去。这几件

器物虽采用了西亚的玻璃工艺，但掌握得并不纯熟，七件器物中六件是小型器，器形简单，也不很规整，玻璃含密聚的气泡，与西亚的玻璃产品有较大差距。从器形上看，钵、瓶和葫芦瓶都是中国传统器形。

定县北魏塔基出土的这七件玻璃容器与汉代玻璃容器的不同之处在于成型工艺的不同。汉代玻璃容器都是采用范模铸造成型的方法，这是一般金属的成型方法。定县北魏塔基的玻璃容器采用的是玻璃吹制成型法。玻璃吹制法是充分利用液态玻璃的可塑性，和液态玻璃在温度下降时逐渐变硬直至固态的特殊性质的一种独特的成型方法。在玻璃吹制成型发明前，任何材料都没有采用过这种方式，因此它是玻璃业的独创。

和许多重要发明一样，关于玻璃吹制法的发明也没有任何文献上的记载。根据近年来的考古发掘，吹制玻璃最早出现在公元前1世纪中叶的地中海东岸[51]。

除了玻璃本身的发明，玻璃制造史上最有意义的发明就是玻璃吹制法。这项先进技术使玻璃业发生了革命，使先前一直是罕见昂贵的玻璃器逐渐变成了地中海地区的常见物品。吹制玻璃的采用简化了生产过程、降低了成本，使玻璃制品进入一般市场。玻璃吹制成的容器，器壁很薄，清澈透明，特别适于储藏物品和展示所储藏的物品。玻璃容器特别是吹制玻璃容器，逐渐取代了几千年来一直使用的陶器的一些类型。公元前1世纪，罗马帝国征服了地中海沿岸，并开始了一段和平时期。这个时期为玻璃技术，特别是吹制玻璃技术的广泛传播，提供了最有利的机会。罗马玻璃在世界玻璃史上的重要地位，就是由于它的两项重要贡献：玻璃吹制法的发明和玻璃制造业的广泛传播。

中国北魏时期的玻璃容器采用了吹制成型法，可以看作罗马玻璃技术向东方传播的结果。

《魏书 · 西域》中的一段记载非常引人注目[52]："世祖时，其国人商贩京师，自云能铸石为五色琉璃，于是采矿山中，于京师铸之。既成，光泽乃美于西方来者。乃诏为行殿，容百余人，光色映彻，观者见之，莫不惊骇，以为神明所作。自此国中琉璃遂贱，人不复珍之。"

关于这一段记载，有不同的理解。有人认为是指中亚的月氏人到北魏首都代（现在的山西大同市），制造带釉的砖瓦，即琉璃砖瓦，因为魏世祖"诏为行殿"，应是一种建筑材料。安家瑶认为这里所说的琉璃，应是玻璃器物。理由如下：①"琉璃"一词在汉代还不能明确是专门指玻璃的术语，但在该书成书之前的魏晋时期，已经可以确定琉璃是表示玻璃这一材料的专门用语。② 这段记载中的"铸石为五色琉璃"，用了"铸"字，熔制玻璃与冶炼金属一样，可用"铸"字，但制造釉器或琉璃砖瓦，则不能用"铸"，只能用"烧造"一词。③ 这段文献提到，月氏人在大同制造琉璃，"既成，光泽乃美于西方来者"。说明月氏人制造的琉璃赛过从西方进口的琉璃。魏晋南北朝时期是进口玻璃的时期，相当数量的罗马玻璃、萨珊玻璃都已经发掘出土。西亚的上釉砖瓦虽然有相当长的历史，但中国还没有发现西亚上釉的砖瓦，因此该文献中的琉璃应该是指玻璃。④ 釉器在中国出现得很早，汉代的绿釉陶器已经相当普遍。釉器与琉璃砖瓦没有质的不同，都是外表上釉的陶器，只是一般将上釉的陶容器或陶动物称为釉器，而将上釉的陶质砖瓦称为琉璃砖瓦。从汉代的绿釉器发展到后来的上釉的砖瓦，可以看作自然的发展，不会产生"观者见之，莫不惊骇，以为神明所作"那么轰动的效应。⑤"诏为行殿，容百余人"，可以理解为用琉璃作殿，也可以理解为魏世祖下诏建一

座宫殿，储藏月氏人做的玻璃器，并邀请100多人来观看。综上所述，这段记载中月氏人在大同所造"光色映彻"的琉璃很可能是指透明度很高的玻璃。

河北定县北魏塔基中出土的玻璃器，与汉代的仿玉玻璃不仅工艺不同，而且外观上也很不相同，定县北魏塔基的玻璃表现的是晶莹透明之美。中国玻璃制品的工艺和外观发生这样大的变化，只能解释为受到新技术、新观念的刺激。河北定县北魏塔基中出土的玻璃器皿与山西大同生产的玻璃有没有关系呢？从年代上看是有可能的，塔基的年代晚于太武年间；从塔基下出土物来看，除了玻璃器之外，还有罗马金币、萨珊银币和金银器，都是罕见珍宝。夏鼐先生对其中的萨珊银币进行过专文研究[53]，他认为："这些建塔时的施舍品，很可能有一部分便是皇室储藏库（御府）中拨调出来的"。所以有理由认为：月氏人在大同为北魏宫廷生产的玻璃器，很可能有一部分作为"施舍品"埋在定县塔基石函中。值得注意的是，这批玻璃器皿的工艺与汉代玻璃盘和耳杯大不相同，采用了吹制的成型工艺。虽然吹制玻璃技术早在公元前1世纪就在地中海沿岸出现，吹制玻璃容器在2世纪就进口到中国，但古代技术的传播往往比商品的流通要慢得多。而且，技术的传播常与工匠的迁移有密切关系，中国采用吹制玻璃技术也许与外来工匠有关。如果《北史》中的记载与北魏塔基出土的玻璃器皿之间确有联系，那么可以得出下述结论：5世纪中亚的工匠将吹制玻璃技术传到中国。这是中国玻璃史上的一个重要转折。北魏以后的玻璃器皿，绝大多数都采用了吹制技术。

2）山西大同方山永固陵出土的玻璃环

方山永固陵是北魏文成帝文明皇后冯氏的陵墓。冯氏卒于太和十四年（490年），同年入葬。永固陵自金代以来，屡遭盗掘。1976年，大同市博物馆等对其进行了清理。墓内出土了北魏的艺术精品，其中有一件玻璃环。玻璃环紫色透明，玻璃质量很好，内含少量小气泡，外表洁净无锈。外径2.2 cm，有可能作为戒指。

山西大同是北魏政权第一个首都平城的所在地。近年来，在大同附近的考古工作中发现了一些玻璃器。这些玻璃器很可能是在平城制作的。

3）山西大同出土的吹制玻璃器

1987年，大同市城东南30 km的湖东编组站铁路建设中，发现一处北魏墓群，其中M21出土一件玻璃器；2001年，大同市南郊变电站M6和M20出土了玻璃器；2002年，大同市迎宾大道M16和M37出土了玻璃器，这批玻璃器填补了大同北魏玻璃容器的空白[54]。这些玻璃器与河北定州北魏塔基出土的玻璃器非常相似，特别是小玻璃瓶，器形一致，口沿内折卷的做法也完全一样。这几处玻璃器在国外罗马玻璃和萨珊玻璃都找不到可比较的器物，与大同出土的北魏陶器的器形有相似之处。玻璃器残片的化学检测结果也与进口的玻璃有较大差别。因此，大同出土的玻璃器和河北定州北魏塔基出土的玻璃器有可能来源相同。

魏晋南北朝时期不到400年，但它是中国历史上秦汉和隋唐这两段极盛时代中间的重要变革时期。在剧烈的社会变动中，南北民族大融合，西方文化大量输入。正是在这种社会背景下，罗马玻璃、萨珊玻璃进口增多，同时西方的玻璃制造技术也东传到中原，并为隋唐及以后的中国玻璃制造奠定了基础。

参考文献

[1] 欧阳询,等.艺文类聚：卷八四[M].北京：中华书局,1956.
[2] 葛洪.抱朴子·内篇：卷二[M].北京：中华书局,1980.
[3] 刘义庆.世说新语[M].上海：上海古籍出版社，1982.
[4] 杨衒之.洛阳伽蓝记：卷四[M].北京：科学出版社,1958.
[5] 欧阳询,等.艺文类聚：卷七三[M].北京：中华书局,1956.
[6] 房玄龄,等.晋书：卷四十五[M].北京：中华书局,1958.
[7] 班固.汉书：卷九十六上[M].北京：中华书局,1962.
[8] 安家瑶.玻璃器史话[M].北京：中国大百科全书出版社,2000.
[9] 南京市博物馆.南京象山5号、6号、7号墓清理简报[J].文物,1972(11)：23.
[10] 李鉴华,屠思华.南京石门坎六朝墓清理记[J].考古通讯,1958(9)：69.
[11] 南京大学历史系考古组.南京大学北园东晋墓[J].文物,1973(4)：44.
[12] 南京市博物馆.南京北郊东晋墓发掘简报[J].考古,1983(4)：315.
[13] Mitchell T C. A review of acquisitions 1963–70 of western Asiatic antiquities(2)[M].[S. l.]：The British Museum Quarterly, 1993(37)：128.
[14] Saldern A. Glaser der Antike[M]. Koln：[s. n.]，1975: 185.
[15] 黎瑶渤.辽宁北票县西官营子北燕冯素弗墓[J].文物,1973(3)：2–28.
[16] Hackin J. Recherehes Archeologiques a Begram[M]. Memoises de la delegalion Acheologique Frangaise en Afghanistan Tome X, 1937: 41–45.
[17] 张季.河北封氏墓群调查记[J].考古通讯,1957(3)：33.
[18] 由水常雄.东洋のガラス[M].[S. l.]：三彩社,1977：63.
[19] 小泉显夫.庆州瑞凤塚の发掘[J].史学杂志,1927,38卷1号.
[20] 韩国国立中央博物馆.新罗双坟庆州98号古坟[M].[S. l.]：[s. n.],1975.
[21] Zerwick C. A short history of glass [M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1990: 32.
[22] 北京市文物工作队.北京西郊王浚妻华芳墓清理简报[J].文物,1965(12)：21–25.
[23] 安家瑶.北周李贤墓出土的玻璃碗：萨珊玻璃器的发现与研究[J].考古,1986(2)：173–181.
[24] 深井晋司,高桥敏.ペルシアのガラス[M].[S. l.]：淡交社刊,1973.
[25] 奈良县立橿原考古学研究所.新沢千塚126号坟[M].奈良：[s. n.],1977：46–48.
[26] 南京市博物馆,南京市玄武区文化局.江苏南京市富贵山六朝墓地发掘简报[J].考古,1998(8)：43.
[27] 安家瑶.镇江文物精华笔谈：玻璃器[J].中国历史博物馆馆刊,1986(9)：28–29.
[28] 王银田,王雁卿.大同南郊北魏墓群M107发掘报告：北朝研究[M].北京：燕山出版社,2000.
[29] 宁夏博物馆，宁夏回族自治区固原博物馆发掘组.宁夏固原北周李贤夫妇墓发掘简报[J].文物，1985(1)：1–20.
[30] 中国社会科学院考古研究所.北魏洛阳永宁寺1979—1994年考古发掘[M].北京：中国大百科全书出版社,1996.
[31] 安家瑶.玻璃考古三则[J].文物,2000(1)：89–96.
[32] Francis Jr P. Beads, the Bead Trade and State Development in Southeast Asia, Ancient Trades and Contacts in Southeast Asia[M]. The Office of the National Cultural Commission, Bangkok, Thailand, 1996: 128–139.
[33] Lee In-sook, et al. Chemical analyses of some ancient glasses from Korea[C]//The International Association for the History of Glass. Amsterdam：[s. n.]，1993: 163–176.
[34] 安家瑶.中国的早期玻璃器皿[J].考古学报,1984(4)：413–448.
[35] 中国建筑材料科学研究总院,等.中国早期玻璃器检验报告[J].考古学报,1984(4)：449–458.

[36] 新疆维吾尔自治区社会科学院考古研究所.新疆古代民族文物[M].北京：文物出版社,1985.
[37] 谷一尚.ガラスの比较文化史[M].[S. l.]：杉山书店,1993.
[38] Stein A. Innermost Asia[M]. Oxford: Clarendon Press, 1928.
[39] 新疆文物考古研究所.新疆维吾尔自治区丝络考古珍品[M].上海：上海译文出版社,1998.
[40] 成倩.新疆且末扎滚鲁克墓地出土玻璃研究[J].文物,2011(7)：88-92.
[41] Shinji Fukai. Persian Glass[M]. New York: Weatherhill, 1977.
[42] 新疆文物考古研究所.新疆民丰县尼雅遗址95MNI号墓地M8发掘简报[J].文物，2000(1)：4-40.
[43] 于志勇.近年来新疆古代玻璃器的考古发现、研究与思考[J].新疆文物,2013(2)：107-117.
[44] Isings C. Roman Glass from Dated Finds[M].[S. l.]：J.B. Wolters Gronningen, 1957: 91.
[45] David Whitehouse. Roman glass in the Corning Museum of Glass: vol. one[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1997: 118-120.
[46] Donald B. Harden: glass of the Caesar[M].[S. l.]：Olivetti, 1987: 116-117.
[47] 李文瑛.新疆营盘墓地出土的古玻璃介绍[C]//干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海：复旦大学出版社,2007：139-144.
[48] The Corning Museum of Glass. A guide to the collections[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 2001: 18.
[49] Marianne Stern E. Early glass of the ancient world 1600B.C.—A.D.50 Ernesto Wolf Collection[M]. VerlagGerd Hatje, 1994: 414-415.
[50] 河北省文化局工作队.河北定县出土北魏石函[J].考古,1966(5)：252-259.
[51] Grose D F. Early Blown Glass[J]. Journal of Glass Studies, 1977(19): 24.
[52] 李延寿,等.北史(唐)卷九十七[M].北京：中华书局,1974.
[53] 夏鼐.河北定县塔基舍利函中波斯萨珊银币[J].考古,1966(5)：267-270.
[54] 安家瑶，刘俊喜.大同地区的北魏玻璃器[M]//张庆捷，李书吉，李钢.4—6世纪的北中国与欧亚大陆.北京：科学出版社,2006：37-46.

第11章 中国黄河和长江中下游地区隋、唐、宋时期的玻璃技术

黄振发

中国隋代(581—618)只有37年历史，而唐代(618—907)有289年历史，其后还经历了53年的五代；宋代建于960年，南宋灭于1279年，其间还有过辽、金。在这近700年的历史中，中国的社会发展，在政治、军事、经济、文化、对外交流等方面都取得了很大的进步，尤其是唐代，成为古代中国最为强盛的朝代之一。研究这个时期的中国古代玻璃，必然要与这个时期的社会环境相联系。本章主要根据考古资料，对隋、唐至宋时期已出土的古代玻璃的主要特点作一归纳和分析。

11.1 隋、唐时期的古代玻璃

581年，杨坚(即隋文帝)代北周称帝，国号隋。开皇三年(583年)定都大兴(今陕西西安)，开皇九年(589年)灭陈，结束了魏晋南北朝300多年割据分裂的局面，统一了全国。但是，隋代仅存在37年，继而唐代建立，国家统一，政治、经济、文化繁荣。一个强盛的唐代为其手工业的发展提供了有利的条件，与汉代相比，唐代的手工业不仅分工更细、门类更全，而且商品生产的比重明显增加，几乎在各个领域中都取得了卓越的成就。在这样的环境条件下，对玻璃业的发展无疑产生了影响。隋、唐时期玻璃技术的主要特点表现在：① 玻璃的化学成分与汉代铅钡玻璃不同，主要是高铅玻璃和钠钙玻璃两种，以适应于制造器皿的生产工艺技术，而且玻璃的透明度和表面光泽度明显提高。所以，这个时期的玻璃与以往相比，已表现出晶莹透亮的质感效果。② 南北朝(420—589)时，引入了西方的吹制技术，即文献所记述的“公元5世纪从波斯来了玻璃制造工匠，引进了玻璃吹制技术”[1]，使玻璃器在陈设观赏品、生活用品等主要方面的制作上有了很大的发展，如玻璃瓶、玻璃茶具、玻璃酒具、玻璃碗盘等的器形，还因为受到了当时佛教的影响，同时出现了大量的舍利玻璃用品。③ 中外交流发达，不但

有大批的西方玻璃制品输入，而且在一定程度上也带进了玻璃制造技术，使之出现了西方技术、东方形式，中国制造的具有本国器形特征的玻璃产品，以满足社会上各个不同阶层的需要。

以下根据近代出土发掘的玻璃器物的具体情况作一分析。

11.1.1 出土的隋代玻璃

根据文物考古界的资料，在已出土的隋代墓葬中，发掘出土玻璃器物的墓有11处，其中陕西占5处，新疆、宁夏、山西、湖南、河北和广西各有1处。上述11处墓葬中，几处主要墓葬出土的玻璃器物列出如下。

1）陕西西安东郊清禅寺舍利墓出土的玻璃器物

该墓为清禅寺主人圆寂于隋开皇九年（589年）时而建。在《西安东郊隋舍利墓清理简报》[2]中提到："此墓虽小，结构简单，但随葬器物却很丰富。除陶、瓷器外，还有大宗的玻璃、玛瑙、水晶石、琥珀等珍贵的玉珠宝器"，其中，玻璃器类28件。

玻璃器：1件。绿色透明，模制，器身结构复杂。

玻璃彩珠：10颗。5颗为绿色，珠体内有红色彩带数道；5颗为黑色，珠体内有黄色彩带数道。9颗形体大小相同，中穿小孔；1颗黑色的略小。

玻璃棋子：13个。通体绿色，平底尖顶。

玻璃饰件：3颗。深蓝色，呈扁状。

玻璃饰：1件。深蓝色，两头尖，中间隆起，似枣核状。

2）陕西西安西郊李静训墓出土的玻璃器物

该墓主人为年仅9岁的少女，卒于隋大业四年（608年），其外祖母是隋文帝长女，所以此墓具有典型的隋代贵族墓葬特点。《唐长安城郊隋唐墓》[3]中介绍了隋代李静训墓发掘出土的随葬品，"玻璃器：有瓶、杯、盒、蛋形器以及珠饰品等，共24件"，其中有7件玻璃器，保存完好无损。

玻璃瓶：2件。一为小瓶口，厚唇外卷成圆形，无颈，平底绿色；一为瓶口呈椭圆形，其唇部作凸棱型，颈部较直，圆底绿色，底中心有吹烧拉结瘤。

玻璃蛋形器：2件。两器形状相同，仅大小各异，中空绿色。

玻璃杯：2件。一为蓝色半透明，杯口圆形，底附矮圆足；一为带绿的淡蓝色半透明，仅腹之下部较前者略粗，两器形状相同（图11.1）。

玻璃盒和圆形盖：1件。通体呈扁圆形，小圆口圆底，圆形盖，盒口和盖口都有磨平痕迹，绿色（图11.2）。

玻璃管形器：1件。已残，




图11.1 陕西西安李静训墓出土的隋代玻璃杯（中国国家博物馆藏）



图11.2 陕西西安李静训墓出土的隋代带盖玻璃盒（中国历史博物馆藏）

中穿通孔，一端孔径较小，中心孔径较大，两端有磨平条痕，草绿色。

玻璃杵形器：1件。一端较大，似杵形；另一端已残，呈黄色，有小气泡。

玻璃长形珠：10枚。体有四棱，通体近似枣核形，黄色全透明。

玻璃小珠：5颗。形状全同，绿色。

3）陕西耀县（今铜川市耀州区，下同）舍利塔基出土的玻璃器物

据《陕西长安和耀县发现的波斯萨珊朝银币》[4]一文介绍，“1969年4月耀县照金公社寺坪队社员在村中平整土地时，于距地面深2 m处发现一座舍利塔基，内有置放塔铭的石函”。其函盖面上篆书“大隋皇帝舍利宝塔铭”九个字，塔铭“十二行、行十二字，记年为仁寿四年（604年）”。塔铭下的涵洞内，在一件涂金方铜盒（高8 cm）内放有一件绿色带盖的玻璃瓶，瓶高5.8 cm，口径1.2 cm。出土时瓶内装着淡红色的浓稠状液体。出土的还有料块1件，玻璃珠2枚。

4）河北定县静志寺塔基出土的玻璃器物

河北定县博物馆在1969年先后发掘两座宋代塔基，在《河北定县发现两座宋代塔基》[5]一文中介绍了对该塔基的年代和有关历史考证：“这个塔基是北宋太平兴国二年（977年）所建的定州静志寺真身舍利塔塔基。塔基中的文物是由几个时代的遗物合到一起的，其中有北魏兴安二年（453年）所埋石函，有隋大业二年（606年）重葬时埋入的石函……这些器物中有的经过几次迁葬，每次迁葬都增添了不少随葬器物。最后一次迁葬在北宋太平兴国二年（977年）。”可见定县静志寺塔基内所藏器物几乎从北魏至宋，其中5号塔基中的“天蓝色玻璃瓶”就是隋大业二年藏于塔内的。有一铜函的四壁铭文云：“大隋仁寿三年（603年）五月二十九日，静志寺与四部众修理废塔，掘得石函，奉舍利有四，函铭云大代兴安二年十一月五日，即建大塔，更做真金宝碗、琉璃瓶等，上下累叠，表里七重，至大业二年十月八日内于塔内。”

根据5号塔基出土文物简表，玻璃器部分有37件：玻璃缸3件，玻璃盆2件，玻璃葡萄1串，玻璃瓶7件，其他24件。其中天蓝色半透明玻璃瓶为隋代制品。

5）陕西西安郭家滩隋姬威墓出土的玻璃器物

《西安郭家滩隋姬威墓》[6]一文介绍，20世纪50年代在陕西郭家滩发现了隋代姬威墓。根据墓志，姬威卒于隋大业六年（610年），墓中的随葬品有不少玻璃器物，全部被打碎，其中能复原的只有3件。

玻璃小罐：1件。质坚胎薄，呈嫩绿色，半透明，口径3 cm。

玻璃小杯：2件。嫩绿色，半透明，器形与李静训墓出土的玻璃小杯相似。一件高3 cm，口径3.8 cm；另一件高2.5 cm，口径3 cm。

6）陕西西安郊区隋吕武墓（M586）出土的玻璃器物

吕武官拜隋代大都督、左亲卫车骑将军，卒于开皇十二年（592年）。墓中出土的一件高

足玻璃杯，绿色半透明，含有较多气泡。器形不甚规整，杯为侈口深腹，下有喇叭形高足，高6.1 cm、口径4.8 cm。

7）广西钦州久隆一号（M1）隋唐墓出土的玻璃器物

1977年广西钦州久隆公社青草大队刘屋村双墩第1号砖室墓出土一件高足玻璃杯[7]。玻璃杯为绿色半透明，杯口微内敛，深腹，高足把为竹节形，足部喇叭形，实心，高8.5 cm、口径6.3 cm、足径3.2 cm。

此外，还有山西太原斛律彻墓隋开皇十七年（597年）出土的青绿色珠6颗、新疆库车县森林赛姆石窟出土的波斯萨珊式样的贴饼高足玻璃杯、湖南长沙隋墓出土的玻璃戒指一枚等。

11.1.2 出土的唐代玻璃

在已发掘的唐代墓葬中，发现出土有玻璃器物的墓约40多处，分布在中国16个省内，其中山西省就有16处之多。此外，还有东北的黑龙江、吉林、辽宁，西北的甘肃、宁夏，西南的西藏、四川、云南，华东的江苏、浙江、福建，华中的湖北、湖南、河南和华北的河北。

从玻璃器物看，唐代墓葬出土的进口玻璃制品主要是伊斯兰玻璃，而国产的玻璃除小型珠饰外，主要器皿为薄胎吹制的玻璃小瓶及玻璃球等，多为佛教用器。当时玻璃器具的应用不是十分普遍，尤其作为生活用品的器具更为罕见，反映了这个时期的玻璃制品可能只是贵族及寺院的专用品。

下面所列为几处主要墓葬出土的玻璃器物。

1）陕西三原县唐李寿墓出土的玻璃器物

据《唐李寿墓发掘简报》[8]介绍："李寿（字神通，577—630）墓位于陕西省三原县陵前公社焦村生产队，1973年3—8月对该墓进行了发掘。……（三）随葬器物，在小龛和墓室内共出土陶、瓷、金、铜、铁、玉、料、玻璃等质地的器物333件。大部分为彩绘陶俑及生活用具。其他，还有玉珠、料珠、玻璃瓶（残）等。

"玻璃瓶（残），一为淡黄色，一为翠绿色，半透明，经土蚀，表面起还原变化，透出银白色光彩。"

安家瑶在《玻璃器史话》[9]中认为，李寿墓玻璃残片"经核对发现是三件不同腹径、不同颜色的玻璃残片。一为淡黄色，透明，外壁附着白色风化层，器口残破，颈径约3 mm，底部残缺。一为翠绿色，透明，外壁附着黄白色风化层，圆底，底中心有一小尖，上腹部及颈部都残缺。另一个为淡黄色，不透明，颈部与腹部都残缺"。所以，实际是三件薄胎小玻璃瓶，其最大腹径分别为：淡黄色瓶2.7 cm、翠绿色瓶1.5 cm、淡黄色不透明瓶1.6 cm。

2）湖北郧县唐李泰墓出土的玻璃器物

李泰为唐太宗之子，封魏王。贞观十七年（643年），"皇太子承乾废，魏王泰亦以罪黜"，"居均州之郧乡"，即被贬到湖北郧县。永徽三年（652年）卒并葬于湖北郧县。李泰墓中出土4件玻璃器皿。

矮颈玻璃瓶：2件。黄色透明，壁厚薄不均，为1.5~2 mm，表面附有不透明的风化黄斑。

两个瓶均为无模吹制成型。

长颈玻璃瓶：1件。绿色透明，气泡较多，表面附有白色风化层。器形为小口细长颈、球形腹、圆底圈足，高24.6 cm、口径3 cm、最大腹径12.4 cm、壁厚0.25 cm。

直筒玻璃杯：1件。绿色透明，平口直壁，圈足，口沿呈火烧圆唇，高约8 cm、口径10 cm、壁厚0.3 cm。

长颈玻璃瓶和直筒玻璃杯均为无模吹制成型，圈足为后黏结玻璃条而成。

3）宁夏固原县唐史诃耽夫妇墓出土的玻璃器物

该墓位于宁夏固原县南郊乡小马村，根据出土的墓志，史氏家族不少人在隋代和唐代做官。唐史诃耽夫妇墓出土的玻璃器物共5件，其中有绿色六曲玻璃碗及玻璃花结，还有异型玻璃珠。最令人惊叹的是玻璃花结的花瓣是用绿色或黄色玻璃料吹制而成，其花瓣均为薄壁，而花蕊则用玻璃珠和金属（铜）丝、片黏结而成，玻璃与金属组合制成的玻璃装饰花，在初唐出现可谓世界范围内最早的制品，是难得的玻璃艺术品之一。

4）河北定县静志寺5号塔基出土的玻璃器物

在5号塔基的出土文物简表中，玻璃器部分有37件，属于唐代的，即有“唐大中十二年（858年）重葬的石棺和唐龙纪元年（889年）葬入的石函”中的玻璃制品，主要有：直筒杯2件，一为无色透明，一为蓝色；细颈瓶2件，一为淡黄色，一为白色；方形无色小瓶1件；刻花细颈瓶1件，淡蓝色。

5）陕西扶风法门寺地宫出土的玻璃器物

法门寺位于陕西省扶风县城北约10 km的法门镇。据《扶风法门寺唐代地宫发掘简报》[10]介绍，1981年8月因淫雨等原因，一座十三级八棱砖塔倒塌，为重建此塔，须对其塔基部分进行发掘清理。在“发掘清理了明代及明代以后的扰坑、明代塔基及唐代地宫基槽之一部分，发现了地宫后室内的大批珍贵文物”。文献记载，“地宫重建于唐乾符元年（874年）”。

在出土遗物中，“玻璃器：出土20件”，玻璃盘有13件，其中刻花蓝色玻璃盘4件、黄色花卉纹玻璃盘1件、透明蓝色玻璃盘（图11.3）1件等。玻璃瓶（图11.4），1件，瓶口贴花。杯，2件，菱形双环纹，直壁，蓝色。茶碗、茶托，各1件，淡黄绿色（图11.5）。



图11.3 陕西扶风法门寺出土的唐代蓝色玻璃盘（扶风县法门寺藏）

正如简报中所述，这是一次唐代皇室集群性文物的重大发现。“玻璃器在出土文物中占很大比重。从产地上说，有东罗马、西亚、中国之区别。时代则以东罗马的盘口贴塑玻璃瓶为最早，大约是5世纪时期之物，而淡黄色茶杯、茶托则是唐代9世纪下半叶产品，其余的刻花玻璃盘、素面玻璃盘等器物，应属在国内罕见的伊斯兰早期玻璃器，大约是9世纪初中叶的产物。所有玻璃制品都有使用铁棒整修口沿的痕迹。茶托上之铁棒

整修痕迹明显，说明这项技术至少在9世纪已传入中国，也说明直至晚唐时代，长安与西亚仍保持着密切的贸易关系”[10]。法门寺地宫出土的玻璃器中最使人疑惑的是一套中式茶具，属进口还是自制的呢？经中国科学院上海光学精密机械研究所科技考古中心用pXRF测量，测出其化学成分为钠钙硅酸盐玻璃，属进口的。

6）陕西临潼县（今西安市临潼区，下同）庆山寺出土的玻璃器物

1985年5月在庆山寺舍利塔基出土了绿色玻璃瓶及薄胎玻璃球6件，贴网纹玻璃瓶1件（图11.6）。该网纹玻璃瓶口径3.9 cm、高7 cm，玻璃瓶为白色，表面涂有一层黑色物。瓶圆口外侈，束颈呈喇叭状，圆球式腹，平底。器肩部有一周凸起的弦纹，腹外壁装饰有不规则的凸起网纹[11]。

7）其他几处墓葬出土的唐代及五代舍利玻璃瓶

（1）甘肃泾川县大云寺舍利塔基下出土的玻璃舍利瓶。据《甘肃省泾川县出土的唐代舍利石函》[12]介绍，舍利瓶内装有舍利子，位于一套舍利容器的最内层，外有金棺、银函、铜函和石函。舍利玻璃瓶，无色透明，长颈，球形腹，微凹底，器壁很薄，不足1 mm。

（2）陕西西安东郊舍利函。唐开元八年（720年）西安东郊舍利塔基下出土的舍利瓶，置于鎏金铜棺中。舍利瓶的底部和下腹部已残缺，但还能看出原器形。瓶为绿色透明，光洁无锈，细长颈，球形腹，颈部和腹部的界限明显，器壁很薄，约0.1 cm。

（3）黑龙江宁安县（今宁安市）舍利函。出土地点为，唐代渤海国故都“上京龙泉府遗址”的内城外东南方向，位于大佛塔建筑的基础中心。舍利瓶放置在两层石函、铁函、铜匣、方形银盒、蛋形银盒内。舍利瓶为淡绿色。外附有白色风化层，壁薄如蛋壳，器形呈圆形，长颈，鼓腹，底略凹，口略浅。

（4）浙江杭州雷峰塔地宫。据《杭州雷峰塔五代地宫发掘简报》[13]介绍，雷峰塔是五代吴越国王钱俶于宋太祖开宝年间动工兴建的佛塔。塔落成后，钱俶命名为“皇妃塔”，次年（978年）吴越归宋。

在出土器物中，有铁舍利函、金银器、鎏金铜器、玉器……玻璃瓶及料珠、丝织品、经卷等。其中绿色小玻璃瓶放置在鎏金银盒内，银盒的四周环绕一条鎏金银腰带，



图11.4 陕西扶风法门寺出土的唐代玻璃瓶（扶风县法门寺藏）



图11.5 陕西扶风法门寺出土的唐代玻璃茶碗、茶托（扶风县法门寺藏）



图11.6 陕西临潼庆山寺舍利塔基出土的唐代网纹玻璃瓶（临潼县博物馆藏）

内藏金棺的纯银阿育王塔,安放在倒扣的银盒内。

玻璃瓶为葫芦形,器壁极薄,外表呈浅绿色,高3.2 cm,最大腹径2.9 cm。出土时已残破。

(5)甘肃灵台舍利函。《灵台舍利石棺》[14]介绍,1957年秋季在城内寺咀修建房屋时,挖出砖砌窖室一座,出土舍利石棺、雕绘砖和唐大中四年(850年)墓志等10余件文物。在石棺内置漆盒1件,玻璃瓶3件,内盛舍利子。

玻璃瓶3件,分别为白、绿、黄三色。器呈葫芦形,底内凹,器形规整,壁薄而匀,外口沿拉丝缠贴而成。乳白色玻璃瓶,颈作圆筒形,高7.8 cm、口部内径1.2 cm、外径2.2 cm、底凹0.2 cm;浅绿色玻璃瓶,颈部为圆球形,外口沿残缺,高11.8 cm、腹径6.1 cm、口部内径1.1 cm、底凹0.3 cm;米黄色玻璃瓶,颈椭圆形,器底残损,残高7.3 cm、腹径5.6 cm、口部内径1.1 cm、外径2.2 cm。

8)隋、唐其他类型出土玻璃器

据不完全统计,这个时期在各墓葬中出土了玻璃球、彩珠、串珠等2 000余件,其中在百枚以上的有四处:① 陕西西安东郊灞桥区洪庆村之南,独孤思墓出土珠330枚;② 陕西礼泉县越王李贞墓出土串珠157枚;③ 河南上蔡县贾庄出土料珠111枚;④ 浙江临安吴越国康陵出土料珠110枚。

除此之外,还出土了具有器形特色的佩饰、璧,如:① 陕西乾县南陵村僖宗靖陵的龙凤纹玻璃佩饰、玻璃璧;② 河南上蔡县贾庄的半月形玻璃佩饰;③ 陕西西安西明寺遗址的玻璃佩鱼等。

这些器物都反映出,隋、唐玻璃技术不但有了吹制玻璃新技术的发展,同时还沿袭了西汉以来的压铸技术,制成了佩饰、珠饰等传统器物。

11.1.3 隋、唐玻璃技术的两个"两个系统"和"三种技术工艺"

表11.1作一简要归纳,提出隋、唐时期玻璃技术的特点,即"两个玻璃系统"和"三种玻璃制造技术工艺"。所谓两个"两个系统"是指,一从出土的器物的来源看,隋、唐玻璃大体可以分为"国产玻璃"和"进口玻璃"两个系统;二从成分上又可分为"铅玻璃"和"钠钙玻璃"两个系统。所谓三种技术工艺,一是传统的压铸工艺;二是铁棒黏结工艺:三是吹制工艺。以下作具体分析。

1)两个"两个系统"

在"器皿类"的出土产品中,各类型的玻璃瓶有了相当多的数量,反映了这一时期"国产玻璃"的发展,其造型与当时陶瓷的造型有很多相似,都具有中国自己的特色。如李静训墓出土的绿色无颈玻璃瓶,在国内外的玻璃器皿中都没有发现过,但与隋代之前所流行的陶罐的造型有不少相似的特征。还有,绿色椭圆扁形玻璃瓶的造型,更是国外所没有的,而恰恰与隋代前后流行的双耳瓷扁壶,及李静训墓葬中的另一件白瓷双耳扁壶,都有许多相同的特征。在唐代墓葬中,如李寿墓、李泰墓等,都出土了颜色和形状不同的玻璃瓶,这些都是中国的"国产玻璃"。另外,伴随着隋、唐的佛教发展,舍利玻璃器也成为这个时期的玻璃特点之一。

表11.1 出土的隋、唐时期主要玻璃器物简表

类别		器物	颜色、质地	成分	出土地点	文献
国产玻璃系统	器皿类（含瓶、杯、盘、盒等）	高足玻璃杯	绿色、半透明	铅玻璃	陕西西安隋吕武墓	[9]
		无颈玻璃瓶	绿色、含气泡杂质	钠钙玻璃	陕西西安李静训墓	[3]
		玻璃杯（2件）	淡蓝色、透明	钠钙玻璃		
			淡绿色、透明	钠钙玻璃		
		扁椭圆形玻璃瓶	绿色、透明	钠钙玻璃		
		带盖玻璃盒	绿色、透明	铅玻璃		
		高足玻璃杯	绿色、半透明	铅玻璃	广西钦州久隆一号隋唐墓	[7]
		玻璃小罐	嫩绿色、半透明		陕西西安郭家滩隋姬威墓	[6]
		玻璃杯（2件）	嫩绿色、半透明			
		玻璃小瓶（3件）	淡黄色、透明		陕西三原县唐李寿墓	[8]
			翠绿色、透明	铅玻璃		[15]
			淡黄色、不透明			[8]
		矮颈玻璃瓶	黄色、透明	钠钙玻璃（含较多镁钾）	湖北郧县唐李泰墓	[9]
		长颈玻璃瓶	绿色、透明			
		直筒玻璃杯	绿色、透明			
		六曲玻璃碗	绿色	铅玻璃	宁夏固原县唐史诃耽夫妇墓	[9]
		玻璃茶碗和托	淡绿色、透明		陕西扶风法门寺地宫	[10]
	舍利玻璃品类	带盖玻璃瓶	绿色、透明		陕西耀县隋代神德寺舍利塔墓	[4]
		玻璃瓶	天蓝色、透明	钠钙玻璃	河北定县静志寺5号塔基	[5]
		舍利玻璃瓶	无色、透明		甘肃泾川县大云寺舍利塔基	[12]
		舍利玻璃瓶	绿色、透明		陕西西安东郊舍利函	[9]
		长颈鼓腹玻璃瓶	淡绿色		黑龙江宁安县舍利函	[9]
		细长颈玻璃瓶	绿色、透明		陕西临潼庆山寺舍利塔基	[11]
		吹制薄胎玻璃球				
		葫芦形玻璃瓶	乳白色、透明	铅玻璃	甘肃灵台舍利石棺	[14]
			浅绿色、透明	铅玻璃		
			米黄色、透明			
		葫芦形玻璃瓶	绿色		浙江杭州雷峰塔五代地宫	[13]
	其他类	玻璃戒指	蓝色		湖南长沙隋墓	[11]
		玻璃棋子（13个）	绿色		陕西西安东郊清禅寺舍利墓	[2]
		玻璃蛋形器（2个）	绿色、真空	铅玻璃	陕西西安李静训墓	[9]
		玻璃管形器	草绿色			
		玻璃杵形器	黄色、有小气泡			

（续表）

类 别		器 物	颜色、质地	成 分	出土地点	文献
国产玻璃系统	其他类	镶嵌玻璃桃形、条形铜饰			宁夏固原县南郊乡小马庄村史射勿墓	[11]
		玻璃花结	黄色		宁夏固原县唐史诃耽夫妇墓	[9]
		玻璃小罗汉	淡黄色、不透明	铅玻璃	辽宁朝阳西大营子高淑英墓	[16]
		龙凤纹玻璃佩饰	青绿色		陕西乾县南陵村僖宗靖陵	[11]
		龙凤纹玻璃璧				
		玻璃佩鱼	深蓝色		陕西西安西明寺遗址	[11]
		半月形玻璃饰	素身、质松		河南上蔡县贾庄	[11]
		此外还有各色玻璃彩珠、串珠计2 000件，玻璃球等				
进口玻璃系统	波斯萨珊玻璃器	细颈玻璃瓶	绿色		陕西西安东郊清禅寺舍利墓	[11]
		磨花玻璃盘	黄色		陕西西安新机场隋墓	[9]
		贴饼玻璃杯			新疆库车森林赛姆隋代石窟	[11]
		细颈玻璃瓶	翠绿色、透明	钠钙玻璃	河南洛阳关林县唐墓	[9]
		凸圈纹玻璃杯	无色、透明	钠钙玻璃	陕西西安南郊何家村窖藏	[9]
	伊斯兰玻璃器	直筒玻璃杯（2件）	无色、透明	钠钙玻璃	河北定县静志寺5号塔基	[5]
			蓝色	钠钙玻璃		
		细颈玻璃瓶（2件）	淡黄色	钠钙玻璃		
			白色	钠钙玻璃		
		方形小玻璃瓶	无色、透明	钠钙玻璃		
		刻花细颈玻璃瓶	淡蓝色	钠钙玻璃	陕西扶风法门寺地宫	[10]
		贴花盘口玻璃瓶	黄色、透明			
		刻纹玻璃盘（6件）	深蓝色、透明			
		印花直筒玻璃杯	无色、透明			
		釉彩玻璃盘	无色、透明			
		素面玻璃瓶	深蓝色、透明	钠钙玻璃		
		素面玻璃盘（4件）	泛蓝紫色（2件）			
			淡蓝色（2件）			
		侈口圈足玻璃盘（2件）	无色、透明			
		直筒玻璃杯（2件）	淡黄色、透明	钠钙玻璃		
		细颈球形腹玻璃瓶	无色、透明	钠钙玻璃	江苏扬州唐代遗址	[9]

西方玻璃输入中国，早于隋、唐时期，这已被史料所证实。但隋、唐出土的西方玻璃器皿更进一步证明了，中西经济、文化交流在隋、唐时期，尤其在盛唐更加开放，贸易品和技术往来更为密切。如西安东郊清禅寺舍利墓中的细颈玻璃瓶，小巧玲珑，制造技术娴熟，属波斯萨珊玻璃中的精品；特别是陕西扶风法门寺出土的各种造型和纹饰的玻璃器物，是伊斯兰玻璃输入中国的集中反映。

另一个“两个系统”，是从玻璃成分来看。隋、唐时期的玻璃制品，不仅器形和应用方面不同于汉或汉以前，而且玻璃成分也发生了变化，可以说也出现了“两个系统”，即“铅玻璃”系统和“钠钙玻璃”系统。“铅玻璃”可以看成“国产玻璃”的主要特征，隋、唐时期的高铅玻璃应该属于中国传统玻璃在这个时期的延伸和发展，以适应新工艺的要求。如广西钦州久隆一号隋唐墓中的绿色高足杯，其PbO的含量达62.1%；陕西三原县唐李寿墓中的绿色玻璃瓶，PbO含量为46.65%；还有湖北郧县唐李泰墓的绿色矮颈玻璃瓶的PbO含量高达64.29%。而“钠钙玻璃”系统则体现了引进西方技术在生产“国产玻璃”中的新技术应用，如在陕西西安李静训墓中的6件玻璃器物，除带盖玻璃盒外，其他5件均为钠钙玻璃。

2）“三种技术工艺”

第一种工艺是压铸工艺。压铸工艺沿袭了汉及汉以前的传统技术工艺，用以生产制造玻璃珠、玻璃璧、佩饰等。如陕西乾县南陵村僖宗靖陵的龙凤纹玻璃佩饰和璧，以及大量的玻璃彩珠、串珠等。这种传统工艺在该时期虽然没有多大发展，但是没有停止，而且还延续到宋代，影响了“药玉”“罐玉”的发展。

第二种工艺是铁棒黏结工艺及无模吹制工艺。除上面提到的大量玻璃瓶外，还有玻璃杯、盒等器物，如直筒杯（李泰墓）、高足杯（广西钦州、西安吕武墓）、带盖玻璃盒（李静训墓）和带底托玻璃茶碗（法门寺地宫）等玻璃器，都反映了隋、唐继南北朝后，玻璃无模吹制和铁棒黏结技术工艺在中国有了很大的发展，这就可以看作在“国产玻璃”系统中采用引进技术工艺的一种。

第三种工艺则完全属于“进口玻璃”系统的西方生产工艺。钠钙玻璃成分、铁棒技术、粘贴玻璃条装饰和吹制方法，是西方玻璃工艺的普遍特征。

从隋、唐出土的大量玻璃器物表明，中国已经全面掌握了这些外来技术，其质地和工艺接近西方玻璃器。铅玻璃（尤其高铅玻璃）和钠钙玻璃共存，是隋、唐玻璃的主要特点，特别是那些质地为钠钙玻璃、造型为中国特点的器物，表明了隋、唐时期既能制造出高铅玻璃，又能制造出质地较好的钠钙玻璃，而器物形态适用于中国传统样式。

总之，隋、唐时期玻璃制造业在经济、文化、技术等方面的中西交融，在当时的社会环境条件下，得到了一定的发展。

11.2 宋、辽、金时期的古代玻璃

宋、辽、金在中国有300多年的历史。已发掘出土有玻璃器物随葬的40多处墓陵或塔基，分别分布在国内的18个省、市、自治区，其中东北三省的黑龙江、辽宁、吉林和内蒙古就有15处，新疆有7处，北京、天津、河北、山西、湖南、安徽、江苏、浙江、江西、福建、云南、

贵州和陕西等省市也都有玻璃器物出土。与隋、唐时期不同的是，陕西只有1处，这反映了在宋代以后，长安已不再是全国的经济文化中心和中外交流的集中地。辽代疆土主要分布在东北、内蒙古一带，所以东北、内蒙古一带出土辽代的文物相对较多，非常符合这一史实。

在40多处的出土墓葬中，佛寺塔基就有16座，说明了在宋、辽时期的玻璃制品，对于隋、唐时期形成的舍利瘗埋制度得以沿袭，以透明的葫芦形舍利玻璃瓶和热塑的艺术玻璃制品最为普遍，成为佛事用品的象征。

这个时期的铅玻璃和传统工艺方法生产的玻璃珠饰，在品种、颜色上都十分丰富，并多姿多彩。但是，从整个玻璃业的发展看，宋代的玻璃并没有像欧洲、西亚那样，成为人们日常生活的用品，所以在制作工艺上并没有明显的进步，始终不如同时期"宋瓷"的发展。

下面介绍出土玻璃器物的几种主要类型和特点。

11.2.1 佛寺塔基出土的舍利玻璃瓶和仿动物、水果玻璃制品

1）河北定县静志寺5号舍利塔基出土的玻璃器物

葫芦玻璃瓶：10件。颜色和质地分别是蓝色透明、绿色透明、黄棕色透明、褐色透明、棕色不透明等。瓶的器壁很薄，瓶壁有白色风化层。

玻璃葡萄：1串。11.1节已说明，5号舍利塔基出土的玻璃器物除有北魏、隋唐的遗物外，宋代于太平兴国元年（977年）建成迁葬。

2）河北定县净众院6号舍利塔基出土的玻璃器物

葫芦玻璃瓶：33件。其中除1件为四联瓶、1件为细颈瓶外，其他均为葫芦形。质地和颜色分别是绿色透明、棕色透明或半透明、无色透明等。瓶壁有白色风化层。瓶的高度大小不一，为3~5 cm。

玻璃杯：1件（图11.7）。杯口径16 cm、高9.9 cm，淡绿色、半透明，表面附有黄白色锈蚀，器壁有密集的冰裂纹和小气泡。口沿外侈，做花瓣式，束腰、鼓腹，底部内凹。用无模吹制法制成。



图11.7　河北定县净众院6号舍利塔基出土的北宋玻璃杯（定县博物馆藏）

根据碑文记载，净众院于北宋端拱元年（988年）建成，但净众院舍利塔6号塔基实际是在北宋至道元年（995年）所建。

3）河南密县北宋塔基出土的玻璃器物

1966年，在河南密县城内原法海寺旧址，发现了一座北宋塔基，在塔基下有上下重叠的两个方形石函。根据《密县北宋塔基中的三彩琉璃塔和其他文物》[17]介绍：上层石函内放置三彩琉璃方塔一座；下层石函盖石的下面刻有"咸平二年（999年）岁次己亥八月癸酉朔二十葬"的纪年铭文，"石函内放置有三彩琉璃方塔两座，三彩琉璃舍利匣一个，瓷舍利盒两个，银舍利盒两个，还有玻璃器、铜佛像和铜钱等文物"。

“玻璃器出土数量比较多，能看出器形的有50余件，分别放置在下层石函和三彩琉璃舍利匣内与匣盖上。形制有壶形鼎、瓶，椭圆形卵状物，宝莲形物和鸟形物等。鸟形物昂头翘翅，两翅各穿一玻璃环（即在后来的有关文献中称‘玻璃鹅’）（图11.8）。玻璃器的颜色分白色和淡绿色两种，表面有银锈，制作相当精致”。史美光等[18]对以上样品进行了检验，“玻璃鹅”中PbO的含量达68.51%，认为应该属于高铅玻璃。壶形鼎为小口，圆腹，薄胎，三实足；椭圆形卵状物和宝莲形物，皆胎薄如纸而密封（图11.9）。



图11.8　河南密县北宋塔基出土的玻璃鸟形器（密县文化馆藏）



图11.9　河南密县北宋塔基出土的玻璃瓶及瓜形器（密县文化馆藏）

4）北京顺义辽净光寺舍利塔基出土的玻璃器物

据载，该座塔筹建于辽统和二十五年（1007年），奠基于开泰二年（1013年）。在塔基下有5件银盒，都装着盛有舍利的葫芦瓶。

5）江苏连云港海青寺阿育王塔出土的玻璃器物

阿育王塔建于北宋天圣元年至天圣九年（1023—1031），出土3件葫芦瓶，为乳白色不透明，质地脆而易碎。

6）其他

天津蓟县独乐寺：出土辽清宁四年（1058年）绿色玻璃葫芦瓶1件、磨花长颈瓶1件和绿色瓶2件。

山西临猗双塔寺塔基：出土北宋熙宁二年（1069年）彩色纹薄胎葫芦形舍利瓶和青色薄胎葫芦形舍利瓶各1件，在这两个舍利瓶中均盛有舍利子。

安徽寿县宋塔：玻璃小瓶2件。

安徽无为舍利塔基：磨花蓝色玻璃瓶1件（图11.10）。

浙江瑞安慧光塔：长颈薄胎玻璃小瓶1件，薄胎玻璃



图11.10　安徽无为舍利塔基出土的北宋蓝色玻璃瓶

球2颗。

江西南丰大圣舍利塔：玻璃珠9枚。

江苏镇江甘露寺铁塔：薄胎玻璃瓶1件，无色透明玻璃串珠1枚。

云南大理崇圣寺三塔：玻璃串珠若干枚。

浙江宁波天封塔地宫：带盖绿色玻璃瓶1件。

内蒙古巴林右旗庆州白塔：墨绿色玻璃瓶1件（内盛舍利子若干）。

辽宁朝阳北塔天宫：金盖淡绿色鸟形玻璃瓶1件、七棱柱状玻璃瓶1件。

以上出土的佛寺塔基的玻璃制品以葫芦形玻璃瓶为最多，在各类玻璃器物中，除个别确定为进口玻璃制品外，大部分为国产玻璃。

11.2.2 主要为西方进口玻璃的宫廷和上层社会及其墓葬玻璃品

对宋、辽、金的40多处出土玻璃器物的情况进行分析发现，佛寺塔基所出土的玻璃器物不论何种造型，基本上是国产的铅玻璃系统产品；只有少数寺院，如安徽无为舍利塔基出土的磨花蓝色玻璃瓶、浙江瑞安慧光塔出土的长颈玻璃瓶、天津蓟县独乐寺出土的磨花长颈玻璃瓶及辽宁朝阳北塔天宫出土的金盖淡绿色鸟形玻璃瓶和七棱柱状玻璃瓶，具有西亚风格。其他寺院出土的北宋玻璃制品，都属于国产玻璃的铅玻璃系统，而制造工艺为吹制薄胎技术。

但是，宋代宫廷和上层社会是如何使用玻璃制品的？可惜的是，在已出土的宋代墓葬中，还未发现有上层社会人物的墓葬，所以无从考证。而辽代的却发现有两处是皇室墓葬，一处是辽开泰七年（1018年）的内蒙古奈曼旗辽陈国公主墓，出土的玻璃器物有乳钉纹高颈玻璃瓶1件、刻花高颈玻璃瓶1件、喇叭口高颈玻璃瓶2件、带把玻璃杯2件、乳钉纹玻璃盘1件。另一处是辽宁法库叶茂台七号墓，出土了四足方盘形玻璃器。这些器物明显反映出，当时西亚国家的玻璃制品还是不断地在向中国输入，而这些玻璃主要是伊斯兰玻璃。

再从历史文献上作一考证。《宋会要辑稿》中多次记载了玻璃器的进口，在南宋淳熙五年（1178年），三佛齐国一次进贡了近200件玻璃器物："三佛齐国进贡……琉璃一百八十九事：观音瓶十、青琉璃瓶四、青口瓶六、润口瓶大小五、环瓶二双、口瓶二、净瓶四，又瓶四十二、浅盘八、方盘三、圆盘三十八、长盘一，又盘二、掺金净瓶二、掺金劝杯连盖一副、掺金盛水瓶一、屈卮三、小卮卮二、香炉一、大小罐二十二、大小盂三十三、大小碟四、大小蜀葵小圆碟一；番糖四琉璃瓶共十五斤八两、番棘琉璃瓶八斤，栀子花四琉璃瓶，共一百八十两……"

据《宋史》[19]记载，实际上三佛齐国从北宋建隆元年（960年）宋太祖时，就遣使来朝贡。如在北宋开宝七年（974年），"又贡象牙、乳香、蔷薇水、万岁棘、扁桃、白砂糖、水晶指环、瑠璃瓶、珊瑚树"。可见三佛齐国向宋朝进贡玻璃瓶、糖（白砂糖、番糖）、棘（万岁棘、番棘）等已成惯例。三佛齐国在这100多年中，进贡给宋朝廷的玻璃器应该有相当大的数量，不难想象，这些玻璃器应为宫廷和上层社会人物所享用。

11.2.3 宋辽时期玻璃发展的新特点

宋代是中国文化艺术发展有相当水平的时期，如陶瓷、玉器、书画和文学等都很发达，涌

现出不少名品和代表人物，但玻璃技术在这个时期只是维持在唐代的水平。从出土的有关玻璃器物来看，也有一些与前不同之处，主要是铅玻璃系统的制品更为扩展、吹制玻璃技术更加熟练、利用玻璃热塑特性初步形成艺术玻璃发展的新方向、琉璃制品与玻璃制品的称谓逐步开始有区分的趋势，这可能就是宋辽时期玻璃发展的新特点。下面就这些特点作一分析。

1）铅玻璃系统的制品更为扩展

前文已述，宋代寺院出土的玻璃制品中，除个别佛寺塔基出土的是进口玻璃外，大部分寺院出土的都是国产的铅玻璃，这是经过科学实验所证明的。如河南密县北宋塔基出土的所有各种形状的玻璃瓶、热塑成型的玻璃鹅（PbO 含量为47.34%）；河北定县静志寺5号塔基出土的玻璃葡萄串（PbO 含量为45.93%）；以及许多寺院出土的葫芦形玻璃瓶（PbO 含量为70.04%），以及文献[16]提供的实验结果，都说明北宋的玻璃器基本为铅玻璃、无模吹制技术形成。

此外，许多地方的墓葬中还出土了彩珠、玻璃钗、玻璃瓒、玻璃手镯等女性饰物，列举如下。

福建南平大凤宋墓出土：玻璃钗1件，湖蓝色，钗体细圆光亮，色泽鲜艳。

江西南丰桑田宋墓出土：玻璃簪1件，孔雀蓝色，簪体扁平长条，表面光泽。

浙江衢州南宋墓出土：玻璃簪1件，蓝色，圆柱状，一端略尖、另一端略粗而平。

安徽潜山彰法山墓出土：透明玻璃簪1件。

江西临川南宋墓出土：白玻璃钗、绿玻璃钗、绿玻璃笄各1件，光洁细润。

从以上制品可以看出，这个时期的国产玻璃，尤其是铅玻璃系统在产品方面更为多样。

同样从河南密县北宋塔基的出土物看，各种玻璃瓶的造型大大突破了隋、唐时期的形制，有鼎形器、宝莲形器、蛋形器等，除蛋形器与隋李静训墓出土物相同外，其他的器形都是前所未见的。由此可以看出，玻璃工匠们已经掌握无模吹制技术并能熟练自如地运用。

特别要提及的是，这时期出现了像玻璃鹅、玻璃葡萄串等仿动植物形态的艺术玻璃以及女性使用的钗、簪等，都是利用玻璃热塑进行的新创作，从中可看出这个时期的玻璃发展出现了新的方向。

2）"琉璃"一词逐步被"玻璃"取代

宋代以后，以低温彩釉制作的砖瓦被称为"琉璃"。这时期的"彩釉瓦"就是"琉璃瓦"，已经与古时称为"琉璃"的玻璃品，根本不是同一物了，所以宋代以后"琉璃"一词开始有被"玻璃"的名称逐步取代的趋势。

参考文献

[1] 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1986：1-4.

[2] 郑洪春.西安东郊隋舍利墓清理简报[J].考古与文物，1988(1)：62.

[3] 中国社会科学院考古研究所.唐长安城郊隋唐墓[M].北京：文物出版社，1980.

[4] 朱捷元,秦波.陕西长安和耀县发现的波斯萨珊朝银币[J].考古,1974(2):126-127.
[5] 定县博物馆.河北定县发现两座宋代塔基[J].文物,1972(8):39-51.
[6] 陕西省文管会.西安郭家滩隋姬威墓[J].文物,1959(8):6.
[7] 黄启善.广西古代玻璃的研究[C]// 干福熹.中国南方古玻璃研究:2002年南宁中国南方古玻璃研讨会论文集.上海:上海科学技术出版社,2003:10-20.
[8] 陕西省博物馆,文管会.唐李寿墓发掘简报[J].文物,1974(9):71-88.
[9] 安家瑶.玻璃器史话[M].北京:中国大百科全书出版社,2000.
[10] 法门寺考古队.扶风法门寺唐代地宫发掘简报[J].考古与文物,1988(2):105.
[11] 关善明.中国古代玻璃[M].香港:香港中文大学文学馆,2001.
[12] 甘肃省文物工作队.甘肃省泾川县出土的唐代舍利石函[J].文物,1966(3):8-15.
[13] 浙江省文物考古研究所.杭州雷峰塔五代地宫发掘简报[J].文物,2002(5):[页码不详].
[14] 秦明智,刘得祯.灵台舍利石棺[J].文物,1983(2):48-52.
[15] 安家瑶.中国的早期玻璃器皿[J].考古学报,1984(4):413-448.
[16] 中国建筑材料科学研究总院,清华大学,中国社会科学院考古研究所.中国早期玻璃检验报告[J].考古,1984(4):449-457.
[17] 金戈.密县北宋塔基中的三彩琉璃塔和其他文物[J].文物,1972(10):63-66.
[18] 史美光,何欧里,吴宗道,等.一批中国古代铅玻璃的研究[C]// 干福熹.中国古玻璃研究:1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京:中国建筑工业出版社,1986:5-9.
[19] 脱脱,等.宋史[M].北京:中华书局,1977.
[20] 杨伯达.中国美术全集:工艺美术编10 金银玻璃珐琅器[M].北京:文物出版社,1996.

第12章　中国黄河和长江中下游地区元、明、清时期的玻璃技术

张维用

中国元、明、清时期，玻璃制造技术已受到西方制造业的影响。如清代康熙皇帝已专门邀请国外玻璃工匠在北京故宫内设立玻璃制造工场。玻璃吹制技术得到发展，生产出薄壁玻璃器作为日常器皿，进而发展到生产颜色玻璃，作为宫廷艺术装饰品。

12.1　元、明时期的玻璃制造

12.1.1　元末明初颜神镇玻璃作坊遗址所描述的古代玻璃生产状况

在元代，中国玻璃的生产和玻璃器在生活中的应用，较之宋、辽、金又有新的发展。《元史》中即有“设瓘玉局”的记载。据考证，瓘玉局实际上是指烧造“瓘子玉”的官办作坊及其管理机构。瓘子玉亦称药玉，是一种仿玉玻璃器，药玉的名称直到明代仍有使用。从考古发掘出土的文物样品来看，元代玻璃是以珠类和发饰为大宗，其他器物如薄胎吹制产品等，较宋代数量减少。玻璃的产地，据目前所知，仅有山东颜神镇一处。

古代的颜神镇，即今山东淄博市博山区的城区及城区以南的神头村一带，地处孝妇河的源头。颜神镇古称颜神店，属淄州淄川县管辖，金代成为淄川县三镇之一。元代称颜神镇，归属于青州府益都县。颜神镇山多田少，难以发展农业，且“土多煤炭”，并有丰富的制造陶瓷、玻璃的原料，故宋代以前，此地即有陶瓷业的生产。至于该地的玻璃生产始于何时，目前尚无确切资料。历史文献的记载只能说明在明代此地即已有玻璃的生产，这对研究博山古代玻璃业的发展是远远不够的。1982年11月，在博山大街中段孝妇河东岸旧称“银子市”的地方，第一次发现了一处古代玻璃作坊的遗址。经专家鉴定，该遗址所属年代为元末明初。此处古代玻璃作坊遗址，是在兴建一座大楼、挖地基时发现的。在大约400 m^2范围内的三条

南北纵向地槽中，共发现大型炉遗迹1处、小型玻璃炉遗迹21座。小型玻璃炉分布密集，排列有序，相距较近的多在1 m左右。遗址北端有房屋基础残存。此处房屋似应是该作坊群经营者的业务活动之所，而不应像当初发掘报告中所说的“工棚”。真正的工棚，应和玻璃炉的残迹一致，在每只炉或相邻的两只炉上面，用最简单的方法搭成的棚屋，或砌以土坯，或立木桩而隔以秫秸箔幛，以避风雨、御寒气。此次发掘因地处闹市，又加上不能妨碍正常施工，故所探得的玻璃炉远非全貌。仅就已发掘的这处古代玻璃作坊群的规模，已超出了人们的想象。明、清至近代，博山玻璃作坊群都集中于孝妇河西岸。这处元末明初的玻璃作坊群却偏偏在孝妇河的东岸。是什么原因致使当时的玻璃业主们从河东岸移到河西岸？遗址中玻璃炉残迹的上层，有很厚的淤积层。由此不难看出这处邻近河岸的古代玻璃作坊经常受到洪水的困扰，人们最后下了决心，拆走所有地面上的建筑，包括砌炉的耐火砖块而迁到河对岸的高阜之上。所以此处遗址中所留下的只有炉坑底部的红烧土块。虽然没有查到当时地方文献中的水文资料，但张维用认为，该处玻璃作坊群被弃置的原因，主要是频繁的水患，而不是行业衰败。这样的解释，也正支持了颜神镇玻璃业从元代到清代一直是在健康地发展着的观点。

在博山大街古代玻璃作坊遗址中，发现的小型炉共21座。倘若能作全面的发掘，当然远非此数，这足可以推断出当时颜神镇玻璃业的生产规模。在社会经济发展缓慢的古代社会，一个行业发展到如此规模，绝非短时间内所能达到的。元代存在不足百年，颜神镇玻璃业或许在金代甚至北宋时就已出现。这样的推断或能填补文献资料的空缺。

遗址中的21座小型炉全部是仅存炉底部分，上部耐火砖砌筑的炉体已荡然无存。当时的发掘者认为“这种炉是制作玻璃器的小炉”[1]。博山的玻璃生产发展到元、明时期，工艺技术有了很大的提高，产品种类也大大增多，其生产所用的炉也相应有了明显的分化，即分化成大炉、圆炉、米珠炉三类主要炉型。大炉是将矿石原料熔炼成玻璃的炉，它可以生产“料条”，为圆炉和米珠炉提供半成品；也可以直接生产各种吹制产品。圆炉是用料条作原料，生产各种各样的小型产品。米珠炉是用料条再熔化制成各种小型珠类。这三种炉各有分工，其炉型、工艺技术、产品都是截然不同的。但遗址中的小型炉虽然据说其炉底部分也有“亚葫芦型”和“凸字型”两种，但张维用认为这些小型炉是一种“未分化型炉”。这些炉较小，炉中有一个小坩埚（硝罐）将矿石原料熔为玻璃，工匠直接从坩埚中取料制造各种产品，兼熔炼、制作于一身。可以说，在当时还没有分化为专门熔炼或专门制作的炉前，所有的炉基本一样。这是一种工艺较为原始的技术，故应视其为“未分化型炉”。

在该遗址的南端还发现了一座直壁平底的大型炉，宽达2 m，残高40 cm，四壁有红烧土块。人们多以为这“是把矿石熔化成玻璃汁以生产玻璃料条的大炉”[1]。但张维用坚持认为这应是一处炼焦炉。清初孙廷铨所著的《颜山杂记・琉璃》中就明确地指出：“琉璃者，石以为质，硝以和之，礁以煅之。”这里的“礁”，应通作“焦”，即焦炭。该文中又说：“礁，猛火也，以攻外。”这就毋庸置疑地说明了在清代以前，颜神镇制造玻璃所用的燃料是焦炭。这是因为古代的玻璃炉炉型较小，而且还没有采用更为理想的助熔剂，所以只有用热值更高的焦炭才有可能使炉温达到熔化原料的程度。然而，颜神镇玻璃炉从采用焦炭为燃料而逐步改为

烧煤，这种转化是从什么时候开始的？张维用以为，就是在孙廷铨的时代。《颜山杂记·琉璃》中就透露出了这种消息："其始也，石气浊，硝气未澄，必剥而争，故其火烟涨而黑；徐恶尽矣，性未和也，火得红；徐性和矣，精未融也，火得青；徐精融矣，合同而化矣，火得白。故相火齐者以白为候。"

孙廷铨在这里描述的玻璃炉中燃料燃烧的过程，是由黑而红、由红而青、由青而白，这正是煤炭燃烧的过程。而"烟涨而黑"更是煤炭燃烧的特征。若是焦炭，不会是"烟涨而黑"，也不会"火得红"，只是由青变白而已。可见孙廷铨的时代，颜神镇的玻璃业是焦炭、煤并用的，从这以后才逐渐全改为烧煤，直到近代。这就大大地降低了生产成本，但其关键是炉型要加大。当然，在孙廷铨之前的元、明两代，肯定是以焦炭为燃料的。在社会生产还没有精细分工的元、明时期，不会有专业的炼焦厂为玻璃业提供商品焦炭。在玻璃作坊集中的地方，同时建炼焦炉、自己解决燃料问题是合情合理的。况且此炉宽达2 m，直壁平底，和熔化玻璃制造料条的"大炉"完全对不上号，故此炉必是炼焦炉无疑。

遗址中还出土了几只"硝罐"——熔炼玻璃用的坩埚。其中一只较完整的高33 cm、口径25 cm、腹径28 cm，比起现在博山所用高达半米以上的硝罐，显得太小了。张维用当时在遗址发掘现场采到一块硝罐的残片，从断面上看，明显是用两种不同材料制成：里层质地紧密，外层质地疏松。请教专家得知，里层紧密，可经受玻璃液的侵蚀；外层疏松，可有效地承受炉火的热冲击。从这块硝罐残片上还可以看出：硝罐小，炉也必小，为达到要求的炉温宜于烧焦；焦炭燃烧，炉温提升快，预热时间短，硝罐极易破裂，故其外层疏松以承受焦炭燃烧时强大的热冲击。从这些地方都可看出古代玻璃工匠生产经验的丰富和工艺技术的相对成熟。

遗址中出土了许多当时生产的玻璃产品，主要有发饰类、珠环类、扣等以及许多废弃玻璃料。把这些标本综合一下，当时能熔炼出的玻璃颜色有无色透明、深浅绿色、深浅蓝色、黑色、白色、乳白色、黄色、茶晶色、砖红色等。其产品标本除珠类外，大多残破，以发饰类数量较多，珠环类次之，玻璃扣只有张维用采到的一件。谨分述如下。

1）发饰类

发饰类在淄博市博物馆当时的发掘报告中被统称为"簪"，用"Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ"式相区别；另有簪花一件。所谓"Ⅰ式"簪，是一种直棒形的中空发簪。发掘报告中仅见半透明乳白色一种，张维用在现场还采到该式簪的浅蓝色残品一段。《颜山杂记·琉璃》在叙述"空之属"产品时说："凡为花簪，先得茎，后得顶，断而殊之，易手而燎之，后得蜂末"；把这种直棒形中空簪的制作程序和方法记述得比较具体，可见这种簪在明末清初还有生产。所谓"Ⅱ式"簪，应称为"笄"。"笄"字在《说文》中只说是"簪也"。不过，张维用根据"笄"字的字形，总认为笄应该是成对使用的，因无旁证，不敢独断。所谓"Ⅲ式"簪，为斗笠顶式簪，此式簪为仿古代金银镶嵌所制。在此三式之外，张维用当年在现场曾采到另一种发簪的残段。此簪为仿玉簪式样，泡顶，粗身，颈稍弯曲，白色，尾残，风化严重。

2）珠环类

珠环类包括各种不同颜色、不同形状及不同粒度的串珠散粒。间有瓜棱珠。也发现不同颜色的小玻璃环，皆像作头饰、衣饰之用。其中最值得注意的是一种形状特殊的珠，在淄博市博物馆于嘉方撰写的《淄博元末明初玻璃作坊遗址》中称其为"柱形绞丝饰"，只采集

到一件，为琥珀色。张维用当年在现场曾采集到同样的标本，有无色透明、浅蓝色、浅绿色等多件。这种所谓“柱形绞丝饰”，一直到近代仍有生产，称作“瑶珠”，据说是中国西南少数民族尤其是瑶族的特需产品，是缀于衣帽之上作为装饰的，亦不必是“单独使用”。其丝纹以深而细者为上品。其规格往往由买方提出，如一寸至五寸或一寸至八寸*。凡珠之长度在此范围之内均属合格，所以不存在残与不残的问题。然而，在20世纪90年代，吉林珲春、扶余等地相继出土了属于元代的“螺旋形饰”或“螺丝形饰”多件[2-3]。这些螺丝形饰，张维用以为皆当时颜神镇所产。元代时，此品亦曾销往关外满族等少数民族地区。及至清代和近代，此品只销往西南，故博山玻璃行业称其为“瑶珠”。这一方面说明这种特殊的“螺丝形饰”自元代至近代一直生产，另一方面说明几百年来颜神镇玻璃产品的销售范围之广。正如《颜山杂记》所说，其销路“北至燕，南至百粤，东至高丽，西至河外，其行万里”。

另一件未见于发掘报告中的是张维用当年在该遗址中采集到的一件标本，圆饼形，酷似围棋子，浅蓝色，一边有黏结疤痕。张维用正苦于无法认定，1985年7月，一位朋友从该遗址附近又采集来相同的标本，持来赠张维用，其圆饼部分全部相同，在其一边粘上一个玻璃圈状鼻。至此方恍然大悟，这是一只玻璃扣。

对元末明初颜神镇玻璃作坊遗址出土标本的化学成分测试结果表明，其配方与中国古代传统玻璃有所不同。其中SiO_2和K_2O的含量高，PbO的含量很少或没有，不见有BaO。其各种化学成分具体含量见表12.1[1]。

表12.1　博山古代玻璃作坊遗址出土玻璃的化学成分　（%）

样品名称	F	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	FeO	CuO	ZnO	PbO
浅绿色半透明玻璃珠		3.30	3.66	6.77	6.33	8.67	10.77	0.31	0.57	0.11		
深蓝色透明玻璃簪柄		2.00	0.22	6.06	59.93	19.78	9.42		0.30			0.46
乳白色空心玻璃簪		3.53	0.48	7.83	58.76	14.99	12.09	0.25	0.64			0.25
蓝色玻璃料		2.44		7.22	59.73	20.34	9.33					
黑色玻璃料	0.10	3.61	3.29	5.90	64.38	8.39	13.52			0.11		
紫色玻璃料			0.30	7.20	66.86	12.19	8.21	0.30	3.04	0.60		
淡绿色玻璃料	0.80	0.30	0.49	19.97	72.04	0.15	2.28	0.18	0.76	0.46	0.35	
黄色玻璃料			0.94	12.04	76.64	3.67	1.99	0.58	2.77	0.15		
淡蓝色玻璃料		0.99	0.22	4.63	67.18	16.34	8.11			1.23		
玻璃原料	0.23	9.65		22.59	62.98	1.08	2.08		0.20			
硝罐内玻璃原料		0.67	0.41	8.73	80.33	3.22	2.75	0.39	0.35	0.86		
硝罐粘壁残渣	12.85	2.5	0.13	43.02	28.80	3.91	0.31	4.64	1.26		0.34	

* 当时的九寸五分相当于1/3 m。

元代的玻璃器除在博山古代玻璃炉遗址中有大量发现以外，各地墓葬中亦有出土，以发饰和珠环类为多。元代发现的重要出土文物，一是甘肃漳县汪世显家族墓出土的玻璃莲花盏托（图12.1），该盏托分盏和托两部分，盏口径8.6 cm、高4.8 cm，通体普蓝色，半透明，口、腹部为七瓣莲花式，底为假圈足，底心稍内凹，口部每瓣莲花均有尖锐的瓣尖，整器仿佛一朵正在盛开的荷花。托口径12.5 cm、高1 cm，内圈为八边形，斜内凹，口沿稍扬起，呈八瓣莲形，瓣尖也为尖锐式，底部则为平底，颜色与盏相同。这件盏托是采用模铸法成型，但技术不很纯熟，盏与托都有明显的气泡。另外，颜色的纯净度也不够，这与元代工艺水平是相符的。二是江苏苏州市元末张士诚之母曹氏墓出土的大量玻璃珠和1件玻璃圭（图12.2）。该玻璃圭长12.6 cm、宽6.5 cm，为涅白色玻璃质，长条形，顶部略尖，下部平直，无纹饰。玻璃珠均无色透明，大小不一，直径在0.4~0.8 cm之间；其主要成分含量为：Si为77.09%，K为8.86%，Pb为8.07%，Ca、Al的含量较低，不含Ba，属于钾铅硅酸盐玻璃。另外，在山西大同也有玻璃珠出土[4-5]。



图12.1 甘肃漳县汪世显家族墓出土的元代玻璃莲花盏托（甘肃省博物馆藏）



图12.2 江苏苏州市元末张士诚之母曹氏墓出土的玻璃圭（苏州博物馆藏）

12.1.2 颜神镇——明代中国玻璃生产的中心

元代延续不足百年，在全国性的农民起义大潮中结束。连年的战争对社会经济和各个行业的发展产生了一些破坏性的影响。但从全国范围来看，玻璃生产的中心似乎仍然是在山东颜神镇。

要探讨明代的玻璃生产，就不能不提到“内官监”。内官监是明代宫廷宦官二十四衙门之一，其“凡国家营建之事董其役。御前所用铜、锡、木、铁之器，日取给焉”。而且其“外厂甚多，各有提督、掌厂等官”，这些“外厂”都是由内官监委派太监担任的“外差”，需“各费厚资营求方得委用”的。这个内官监就是明代皇家工场的管理机构。在这些工场中服役为皇家进行各种生产的“人匠”有两种，一种以囚犯充任，如营建宫殿等役；另一种称“供役工匠”。在明代，人以籍分，除民籍之外，尚有官籍、军籍、医籍、匠籍、驿籍、灶籍等世袭的户籍。“供役工匠”必须是在内官监“落籍”取得“匠籍”身份的人才能充任。明洪武三年（1370年），由河北枣强迁来山东的移民孙克让就具有匠籍身份，他来颜神镇后，以“供役工匠”的身份，为宫廷监造各种玻璃贡品。在对明代颜神镇玻璃生产了解甚少的情况下，我们至少已经知道当时此地从明初开始就曾为皇室生产过贡品。

据孙克让的九世孙、清内秘书院大学士孙廷铨的《颜山杂记》记载，当时供奉朝廷的贡

品之中，最为贵重的是“青帘”，并且把它的配方、制作方法及用途都做了详细记述[6]：“琉璃之贵者为青帘。取彼水晶，和以回青。如箸斯条，若水似冰。纬为幌薄，傅于朱棂……用之郊坛焉，用之清庙焉。……”

这种“青帘”是用蓝色的“条珠”穿制而成的门帘，专用蓝色是因为“义取乎青象苍穹，答玄贶也”。这种象征青天的“青帘”，只能在皇家“郊坛”“清庙”等祭天或祭祖的场合方可悬挂，尊崇无比，老百姓恐怕难得一见。有研究者说这是“用拉管法拉出筷子状的长管，再切割成的管珠”制成的，其实不是。制青帘的条珠，《颜山杂记》中明确地说是“条珠缠之”，可见是用“缠绕法”一颗颗制成。只可惜线缕易朽、珠粒易散，且清代已无青帘之制作。张维用为此，曾亲去故宫、天坛、颐和园、圆明园等地访问调查，没有发现一点关于“青帘”的蛛丝马迹。

除青帘之外，颜神镇当年还生产玻璃佩饰、灯屏之类。《颜山杂记》在记述“青帘”之后紧接着又说：其次为珮玉丁当，连珠缀缨，绛纱作盛，弁冕盈廷，乃球锵鸣，古者百僚朝祭之法服也。其次为华灯、屏风……皆穿珠之属，错采雕龙……

《颜山杂记》中提到的这些产品的名称，明显不是民间所用之物，应是当年提供给朝廷的贡品。将这些器物名称和明嘉靖四十四年（1565年）修纂的《青州府志》所载加以比较，即可明了。《青州府志・琉璃器》云：“琉璃器出颜神镇。以土产马牙、紫石为主，法用黄丹、白铅、铜绿、焦煎成。珠穿灯屏、棋局、帐钩、枕顶类，光莹可爱。”

可见青帘、佩玉之类，只贡宫廷，外界不见，故方志中不可能提及。而珠穿灯、屏、棋子之类，贵贱皆用，雅俗咸宜，故府志载之。《明会典》卷六十《文武官员冠服》条载，四品以下官员的“带版”和“佩”皆用“药玉”；殿试的状元秩为六品，也由皇帝赐给“光素银带一条，药玉佩一副”。而事实上，近年出土的明代墓葬中，也曾出土过玻璃组佩及绶环等玻璃佩饰之类。这些，张维用以为是当年颜神镇所产。

《颜山杂记》的作者孙廷铨在孙氏家族中，官位最高、成就最大。他在明崇祯十三年（1640年）中进士，做了两任知县，于清顺治二年（1645年）由州府推官擢升为兵、户、吏三部尚书，并授光禄大夫、少保头衔。康熙初年，拜内秘书院大学士。因为孙氏家族在由明代起的200余年间，一直和颜神镇的玻璃业生产有着直接而密切的关系，所以当孙廷铨告病回乡之后，完成的第一部著作《颜山杂记》中有关颜神镇玻璃生产的记述，是那么详细而精当。《颜山杂记》成书于清康熙四年（1665年），但是其中《琉璃》一节应该看作明代颜神镇玻璃生产工艺技术的总结。所以，研究明代玻璃生产是离不开《颜山杂记・琉璃》的。

据《颜山杂记・琉璃》记述，明代颜神镇玻璃生产所用的矿石原料主要有三种，即马牙石、紫石、凌子石。马牙石是熔炼玻璃的主体。按博山大街玻璃作坊遗址出土标本检验结果，元末明初颜神镇所产玻璃含硅和铝的成分都很高，从这一点上专家们一致推断马牙石应是长石一类的矿石。张维用为了弄清马牙石的问题，曾会同科技人员多次到《续修博山县志》中所说的马牙石产地两平村实地调查，结果一无所获。当地群众都是把方解石称作马牙石。而两平村附近的山石都是属于水成岩的石灰岩，在这里似乎不可能出产长石或者石英石，方解石在这里倒是随处可见。其实，博山玻璃业近百年甚至更早些时候，已经用一种叫做“白药石”的矿石原料熔炼玻璃了。这种白药石产于博山附近的昆仑，属长石类，是陶

瓷业磨制瓷釉的原料。它虽然也是白色的，却没有《颜山杂记》所说的"廉削而四方"的方形解理，自然不是"马牙石"。到20世纪30年代，博山玻璃业为降低生产成本，又改用陶瓷业制釉所剩的俗称"白药渣"的废渣来熔炼玻璃。合作化以后，生产规模大了，所用主要原料改为产自山东招远、新泰、莱芜等地的石英。经过粉碎的石英粉，博山人称"石面"。"马牙石"作为玻璃的原料，已经几代人不再用了。就是由于这样的原因，博山人对"马牙石"失去了记忆。而《续修博山县志》所载马牙石产地，恐系误记。

使用马牙石作为熔炼玻璃的主要原料的，不仅有博山。据清宫档案，乾隆时修建圆明园中的远瀛观等处"西洋楼"时，为制造玻璃吊灯等大型玻璃器就用去"马牙石粉"几十万斤之多。可见从明到清，从颜神镇到北京，熔炼玻璃的原料都是"马牙石"。不过，这"马牙石"直到今天仍是一个谜。

据《颜山杂记》中讲，明代熔炼玻璃的主要原料还有紫石和凌子石。紫石即莹石，博山玻璃业祖祖辈辈都是把莹石叫做"紫石"；而凌子石，经有关专家推断应是白云石。

在古代，玻璃制造业所用各种原料的配比配方，是用一种原始的"倍份换算法"。用这种方法换算起来比较费事而且不够精确。在这样的配方中只有各种主要矿石原料用倍份表示的配比，至于投入多少具体的分量，是要根据投入的助熔剂——硝的分量来决定，这就是《颜山杂记·琉璃》中所说的"凡皆以焰硝之数为之程"。

《颜山杂记·琉璃》中还记载了十种不同颜色的配方，其中"白"指马牙石，"紫"指莹石："……白五之，紫一之，凌子倍紫，得水晶；进其紫，退其白，去其凌子，得正白；白三之，紫一之，凌子如紫，加少铜及铁屑焉，得梅萼红；白三之，紫一之，去其凌子，进其铜，去其铁，得蓝；法如白焉，钩以铜碛，得秋黄；法如水晶，钩以画碗石，得映青；法如白，加铅焉，多多益善，得牙白；法如牙白，加铁焉，得正黑；法如水晶，加铜焉，得绿；法如绿，退其铜，加少碛焉，得鹅黄。"

这里需要稍加说明的是，"水晶"指无色透明的玻璃；"铜碛"是一种混生于煤层中的硫铁矿；"画碗石"即氧化钴；"钩"是指在玻璃熔炼过程中加入某些辅助原料，并加以搅匀的操作方法，是博山玻璃业的行业用语。

除了颜神镇的十种玻璃配方，《颜山杂记·琉璃》还介绍了当时颜神镇三大类若干品种的玻璃产品。这三大类即"穿珠之属""实之属"和"空之属"。作者孙廷铨最推崇的"琉璃之贵者"的"青帘"，已在前面谈到过。其次为"华灯、屏风"，与明嘉靖《青州府志》所记载的"珠穿灯屏"相吻合。唯独孙廷铨所记的"罐合、果山"，至今不知为何物。这些都是所谓的"穿珠之属"，是用各种珠穿制而成的。其所谓"实之属"的产品，有"棋子、风铃、念珠、壶顶、簪珥、料方"等。其制作方法，孙廷铨亦加以介绍："围棋滴之，风铃范之，料方亦如之。条珠缠之，细珠写之，大珠缠之、戛之"。这里要加一些解释。"围棋"应指围棋子，明嘉靖《青州府志》作"棋局"，盖亦同。明、清时期，颜神镇制造围棋子，是用"滴法"。即用铁杖入炉取较多的玻璃液，不待其冷凝，即令其自行滴落于石板之上，每一滴即成一粒棋子。关键在于尽量控制所滴料的粒度大小，还可于检验时根据其粒度大小分拣为大、中、小号，分别归类。这种"滴法"制作围棋子的工艺，在博山已经失传，近年皆用范制。但在云南，这种"滴法"一直延续到近代，这就是著名的"云子"，但因其效率低而粒度不一致，近年此法亦废。

所谓“风铃”“料方”，皆用范制。风铃又称檐马或铁马，近年称“琉璃风灯”，挂于檐下随风作响。料方盖镇纸之类。这些产品用范制，可以每片上都带有吉祥纹样之类。

孙廷铨《琉璃》一节说到的“条珠缠之，细珠写之，大珠缠之、戛之”一段，将在本章12.2节详细论之。接着，孙廷铨还谈到了“实之属”玻璃产品的一些特殊工艺：“簪珥，惟错车磲者，杂二色药而糅之。玛瑙者，珐琅点之。缠丝者，以药夹丝，待其融也，引而旋之。”

“车磲”，是一种产于印度洋的大贝类，其壳可制工艺品。“糅”同“揉”。用玻璃仿车磲或玛瑙等，采用“揉”和“点”的工艺手法。揉，是将两种颜色的玻璃料在熔化的情况下糅合，取得各色相间自然散乱的效果，博山玻璃工匠称为“钩锅朵”(音)；点，是在“水晶”料或乳白色料上粘一小块红或绿的料，再入火融化，不仅仿玛瑙用此法，仿翡翠亦用此法。缠丝，是在水晶料上粘几条其他颜色的料丝，再入火融化，将料拉成长条形，再入火，“引而旋之”，该长条形料中就出现很规则的多种颜色的螺旋形细纹。近年来，这种工艺被称作“拧丝”。由上述，可以得到两个信息：① 模仿天然玉石的所谓“充翠仿玉”的玻璃产品，已在明代的颜神镇出现雏形；② 明代颜神镇玻璃业所用的炉，已不是元代所用的“未分化”的炉型，其熔炼玻璃、制作产品及制作珠类已经在不同的炉型上进行。因为“揉”“点”“缠丝”等工艺需要用半成品原料——料条来进行生产。

最值得我们注意的是《颜山杂记 · 琉璃》中所提到的九种“空之属”的产品，它们是“泡灯、鱼瓶、葫芦、砚滴、佛眼、轩辕镜、火珠、响器、鼓珰”。这些名称现代人都很陌生，可稍加解释：泡灯即皮灯；鱼瓶即鱼缸；葫芦为玩具，大者可作陈设；砚滴为带嘴的水盂；佛眼是玻璃吹制成的眼球，装銮佛像用；轩辕镜，宫殿正中藻井下所悬之圆球；火珠，宫殿或庙宇正脊中央之宝珠；响器是博山特有的玻璃喇叭，年节应景玩具；鼓珰，亦玩具，详见下文。博山大街古代玻璃作坊遗址中虽发现过中空的乳白色玻璃发簪，但这不能算是吹制产品；明嘉靖《青州府志》所记载的颜神镇玻璃产品中，没有中空的吹制产品。《颜山杂记》中提到九种“空之属”产品，说明了明嘉靖以后，颜神镇出现了相对较为成熟的吹制玻璃的技术。但这些产品仍局限在小型、壁薄、体轻的观赏品、陈设品或玩具之类。其根本的原因在于吹制所用的工具。正如《颜山杂记》所说：“凡制琉璃，必先以琉璃为管焉，必有铁杖、剪刀焉”，这就明确地说出了明末清初颜神镇吹制玻璃产品是用“琉璃管”，这和西洋人、现代人所用的铁吹筒显然不同，所以只能制作小、薄、轻型的产品。这种吹制小型玻璃产品的琉璃管，在博山一直沿用到近年，被称作“母杆”，但只是在吹制“鼓珰”时才用。制“琉璃管”，不是用吹制法。先以铁杖入炉取较大熔料，趁其软以钳压其中部并旋转钳拉其边缘部，使玻璃料成一杯状。入火加热使软，用钳封其口，使成一空泡。再入火加热使软，取出用钳将空泡拉成中空的细长杆形，断其两头即成“琉璃管”。元代的空心发簪亦是用此法制成，故非吹制产品。用琉璃管与使用铁吹筒生产有许多不同之处：首先，琉璃管入火即融，不能直接入炉取料，须以铁杖取出少许玻璃料粘到管上；其次，琉璃管脆弱，不能制作大而重的产品。

明代颜神镇的玻璃产品，一部分作为贡品进入宫廷，如青帘、佩饰、发饰及珠穿灯、屏之类，另一部分远销外地，所以博山当地已经见不到明代遗留下来的玻璃制品了。而传世和出土的明代玻璃器，亦不是很多，近年来各地发掘出土的以玻璃珠、环、扣、棋子、花饰等

为多见，应皆为颜神镇所产。以鬓饰作为民间最常用的玻璃制品，明代颜神镇的产品已传至南方。图12.3所示为广东汕头市明代墓葬所出土的玻璃簪，器表面光滑，浅蓝色，色调纯正，不透明，光泽感不强。两器形制相同，均作长身扁柱体，双股粘连而成，实心，头部较宽，弯头成钩形，颈部两侧各有三道斜横槽，器身向尾端渐收成尖状。一件通长11 cm，弧长13 cm，顶宽1.4 cm；另一件通长11.8 cm，弧长13.7 cm，顶宽1.2 cm。这两件玻璃簪的成分经测试为钾钙硅酸盐系统[7]。2000年，张维用曾应邀去香港中文大学，有幸参观了香港收藏家关善明先生的“中国古代玻璃展览”。其中有不少明代玻璃，这些展品经过化学分析，皆属博山玻璃的成分体系，即钾钙硅酸盐玻璃。明代玻璃收藏中最引人注意的是白色玻璃组佩、白色玻璃镂雕梅雀纹饰及浅绿色玻璃双龙耳委角方形杯等。其中白色玻璃组佩见图12.4[8]，应是《颜山杂记》中所说的“佩玉丁当，连珠缀缨……乃球锵鸣，古者百僚朝祭之法服也”那一类的产品；而透雕带铐及镂雕梅雀纹饰则可能是由颜神镇玻璃工匠按图制成玻璃坯块，再由苏州或北京玉匠琢磨而成。唯双龙耳方形杯，虽明显是中国工匠所造，但实难断定其出处。



图12.3　广东汕头市明代墓葬出土的玻璃发簪



图12.4　香港关善明收藏的明代白色玻璃组佩

在明代的270余年中，山东颜神镇的玻璃业无论是在产品的品种上还是在工艺技术上都有很大的发展，尤其是吹制产品的出现是一个很大的进步。正因为如此，颜神镇的玻璃业的规模越来越大，生产经营也越来越兴旺。明万历三十九年（1611年）颜神镇玻璃业创建了“炉神庙”就是最好的证明。但是，在全国范围内，除颜神镇之外，还有没有其他玻璃产地？这是张维用一直在文献古籍中苦苦搜寻的。明彭大翼《山堂肆考》和《南州异物志》都提到：欲作玻璃器必“以自然灰治之。自然灰状如黄灰，生南海滨，亦可浣衣”。古代社会，每一生产行业都出现在其原料产地附近，这是其一；另，清方以智《物理小识》云：“三保太监曾携西洋烧玻璃人来”。那么，粤广之地既产玻璃原料“自然灰”，又是三保太监屡下西洋所必经之地，据此推测，广东一带在明代应有玻璃生产，因为这里在晋代就曾有过玻璃生产，东晋葛洪《抱朴子》云：“外国作水精碗……今交广多有得其法而铸作之者”。如果明代广东产玻璃只是一种推测的话，明徐𤊹《徐氏笔精》里所透露出来的信息就是确实的了。该书《料丝灯》条云：“料丝灯，出滇金齿者胜……以玛瑙、紫石英诸药为

屑，煮腐如粉……以煮料为丝，故名‘料丝灯’”。“金齿”，是中国西南地区有以金色涂牙齿习俗的若干少数民族的统称，古时称“金齿蛮”。明时曾在云南永昌设置“金齿卫”，徐㓊所说“金齿”，应指今云南永昌一带。虽然徐㓊所记原料、配方、工艺等多有失实，却也难怪。在为了生存必须对工艺技术保密的情况下，徐㓊偏要拿这个问题去“询之土人”，自然只能得到这样的解答。

明代在其他地方出土的玻璃器，有四川成都梁家巷出土的玻璃珠，山东梁山出土的玻璃杯，北京护国寺西舍利塔和天宁寺出土的玻璃碗、盘（共3件），以及江苏扬州市梅花岭史可法衣冠冢出土的一套玻璃带板，带板每块长9 cm、宽6 cm，涅白色玻璃质[5]。

12.2 清代宫廷内务府造办处玻璃厂

据孙廷铨《颜山杂记》载：“当明之末，……江北旱灾，琉璃之家，死者什九”，可见明代末年，作为全国玻璃生产中心的颜神镇当时受到多么严重的影响。想要恢复，需要一定的时间。所以自清兵入关之后，一直到康熙初年，玻璃制造业才重新走上发展的道路。清代的康熙和乾隆皇帝都很重视西方传教士带来的科技知识，并把一些传教士安排在宫廷内的机构工作，如纪文、汪执中被安排在内务府造办处玻璃厂工作。西方玻璃技术的引进与使用，极大地推动了清代玻璃业的发展。

清代是中国古代玻璃器发展史上最辉煌的时期，玻璃品种繁多，工艺技术高超。清代玻璃生产分南北两地。据杨伯达先生考证，南方以广州玻璃制造业为中心，北方仍以博山为中心。而内廷玻璃厂则融合南北玻璃技法与欧洲玻璃技法而别具一格。清乾隆四十八年（1783年）修纂的《太原府志》卷十五有这样一段记载：“琉璃，出阳曲交城山中。有矿石色微红，不甚坚硬，土人取捣成末，如炼硫黄法炼成，以为簪环钮之属，五色胥备。间有用以制灯者。今府南关有琉璃店。”阳曲交城的玻璃生产是否和北魏时平城（今大同）月支人所造的“五色玻璃”有一定关系，因资料太少，不得而知。但从其产品为“簪环钮之属”来看，又似乎两者很少有直接关系。但不管如何，张维用从这段记载中又找到了一处确切的清代玻璃产地。另据其他零星资料，似乎苏州、丹阳、重庆等地也曾有玻璃生产。现谨将清代各主要玻璃产地分别介绍如下。

明代的人以籍分的制度没有沿袭到清代，《皇朝文献通考》上载有一条清顺治二年（1645年）颁布的上谕：前明之例，民以籍分，故有官籍、军籍、医籍、匠籍、驿籍、灶籍，皆世其业，以应差役。自是除之。后民籍之外，惟灶丁为世业。

人以籍分的废除了，在颜神镇为明朝廷监制玻璃贡品的孙氏家族失去了“供役工匠”的身份，像“青帘”等贡品的生产自然也停止了。清康熙初年，下诏内务府下设造办处，集中了各行各业的工匠包括许多西洋技术人员，为宫廷制造各种所需物品。康熙三十三年（1694年），造办处内分设“作房”，有弓作、鞍马作、盔头作、裱作、绣作、匣作、油木作、金玉作、珐琅作、铜镀作、灯裁作、如意馆、琉璃厂、自鸣钟处、铸炉处、炮枪处、舆图房、画院等。其中，如意馆是为各作房设计图样的；琉璃厂是烧造琉璃砖瓦的窑场。这些作房，后来常有裁并或增添，最多时达“六十一行”，可见清代的宫廷造办处几乎是无所不包的。

康熙皇帝玄烨崇尚西学，尤其对西洋传来的玻璃制品很感兴趣。康熙三十二年（1693年），玄烨通过法国传教士要求法国派熟悉制造珐琅及玻璃器的传教士来华。康熙三十三年（1694年），一批法国传教士从里斯本登船抵澳门，其中就有熟悉制造玻璃器的中文名为纪理安（英文名Kilian Stumpt）的神父[9]。于是玄烨于康熙三十五年（1696年）下诏造办处设“玻璃厂”，由纪理安参与玻璃厂的筹建。玻璃厂于当年就开始生产玻璃制品，并通过传教士致函法国政府，转达康熙皇帝的意愿：“乞请由我们法国玻璃厂中选派一位或两位熟练玻璃工匠来华，以便制造出如同中国的玻璃和水晶，以至镜面、釉色。亦请选派珐琅匠一名”[9]。这就是清代内务府造办处玻璃厂设置的起因和初创时的情况。由此可见玻璃厂创建之初，除西洋传教士纪理安参与筹划之外，还有非神职的专职法国玻璃工匠在玻璃厂从事技术工作。

造办处各作工匠分“北匠”和“南匠”。凡北京附近、华北诸省及新疆少数民族匠役皆属北匠；江南各省匠役及西洋工匠皆属南匠。南匠之中又分三种：世代隶于内务府永不南归者曰“抬旗匠”；常年在宫中服役，年老放归原籍者曰“供奉南匠”；完成某项制造任务后即资遣者曰“临时南匠”。由于玻璃厂最初的匠役和匠役长多为西洋人充任，稍后，有广东督抚衙门选送的玻璃工匠陈向贵、周俊到造办处玻璃厂服役，自然就应属“南匠”。再往后，从清宫造办处的档案来看，已不见广东工匠在玻璃厂服役，而改为由山东省府衙门选送的博山玻璃工匠了。从当年造办处的档案表查找，博山工匠在玻璃厂服役有姓名可考的，如乾隆年间的何崇福，嘉庆年间的郝珍、郝兰、郝海，道光年间的张坤、李克成等。另外从博山玻璃业人士中还了解到，光绪年间郝志荣、任子久等也曾进玻璃厂服役。博山虽地处江北，但根据工艺作风，博山玻璃工匠仍属南匠系统。

造办处玻璃厂创建之初，基本上是西洋传教士和工匠按照西洋的工艺技术建造窑炉、设计配方，并由这些西洋人亲自制作各种玻璃器。他们还带过一些中国学徒，传教工艺操作。所以那段时期玻璃厂的产品，无论是玻璃的材质成分、器物造型还是制作手法，都明显地带有西洋玻璃的特征。但当广东和博山的玻璃工匠参与玻璃厂的生产活动以后，所作产品从器形到纹饰，就又回复到中国的民族风格上来了。

康熙年间，纪理安在玻璃厂主事期间，曾用西洋的玻璃技术制造了很多大型的玻璃器皿。其技术的关键在于铁制的“吹筒”。当时颜神镇吹制玻璃仍使用“琉璃管”。纪理安于康熙五十九年（1720年）卒于北京，到乾隆五年（1740年）又来了一个法国人纪文。纪文是基督教徒，但非神职人员，倒是一个专业的玻璃匠，他对乾隆时期玻璃厂所产的大型玻璃器起了重要的作用。根据清宫造办处档案，至迟在乾隆二十二年（1757年）已有博山玻璃工匠在玻璃厂服役，而纪文是在乾隆二十三年（1758年）卒于北京。可是到了乾隆二十五年（1760年）十月十七日，弘历忽然传旨，问玻璃厂中的“西洋人有会吹玻璃之人无有”，造办处“于十月二十一日，郎中白士秀将问得西洋人俱说无有会吹玻璃之人，缮折具奏”[9]。可见当时玻璃厂的大型玻璃器尚非博山工匠所制。但后来博山工匠如嘉庆年间的郝氏三人，道光年间的张、李二人，都是以“吹玻璃匠”的身份在玻璃厂服役的。博山玻璃业使用铁吹筒制造大型玻璃器的技术，在这里找到了根源。

康熙时期（1662—1722）玻璃业的成就表现在创造套料，并使单色玻璃器的制造达到了

炉火纯青的地步。从器形来说,完全摒弃了唐宋以来的薄胎瓶,简单的杯、碗造型,而是兼采玉器、瓷器等各类工艺的优秀器形,创造出全新的玻璃形制,例如水丞、鱼缸、笔筒等。康熙时期的玻璃色彩丰富,色度纯正、艳丽,可以说是"白如水晶,红如火齐"。雍正时期(1723—1735)继承了康熙时期玻璃器的生产技术和特色,并有所发展,生产还是相当活跃,但仅局限于色彩的更加丰富、纯度更高,其他方面没有大的发展,个别环节还不如康熙时期。清代中期即乾隆至嘉庆初年(1736—1805),是清代玻璃生产的极盛期[10]。

康熙时期的玻璃器目前存世很少,比较珍贵的一件是目前藏于故宫博物院的透明玻璃水丞(图12.5)。该玻璃水丞高7 cm,口径为2.8 cm。水丞无色透明,质地洁净。器有盖,腹部下垂,平底。器腹表面经过琢磨,呈八面莲花,器盖抹饰六角形连锁图案。口沿、盖与肩部组合恰如一个茄蒂。底部阴刻"康熙御制"篆书款。此水丞造型奇特,类似墨水瓶,装饰手法迥异于中国传统技术,兼之又有"康熙御制"的款识,应是清内务府养心殿造办处玻璃厂的西方传教士指导所造。这件水丞的制作方法是先用吹制法成型,然后用琢磨玻璃技术磨出花纹,而款识的制作,应是造办处的中国玉匠采用琢玉法碾磨出来的[4-5]。



图12.5 清康熙时期透明玻璃水丞(故宫博物院藏)

雍正时期,胤禛为了便于控制玻璃厂,将养心殿造办处玻璃厂迁到圆明园六所。这个时期玻璃厂的作品较多,如葡萄色玻璃杯、仿红玛瑙玻璃器皿、涅白玻璃小圆水丞、涅白玻璃套红三足笔洗、两面镶嵌珐琅片翡翠色玻璃小瓶等。颜色上有仿玛瑙红、翡翠绿、琥珀蜜蜡黄、亮紫、浅黄、亮浅蓝等。器形有八棱瓶、小缸、水盂、渣斗、圆盒等多种。这些玻璃器在采用模铸成型时技术上有欠缺,出现了一些气泡和糟坑,但质量尚好,仍为清早期玻璃器中的佳品。雍正时期比较典型的一件玻璃器物是藏于故宫博物院的黄玻璃菊瓣式渣斗(图12.6)。此器制作规整,造型典雅,色彩艳丽。器为敞口、宽腹、圈足。高9.9 cm,口径9.7 cm。从口部到底部以凹凸手法装饰成十六瓣菊花式。底部镌刻"雍正年制"双直行四字楷书阴刻款[4,10]。

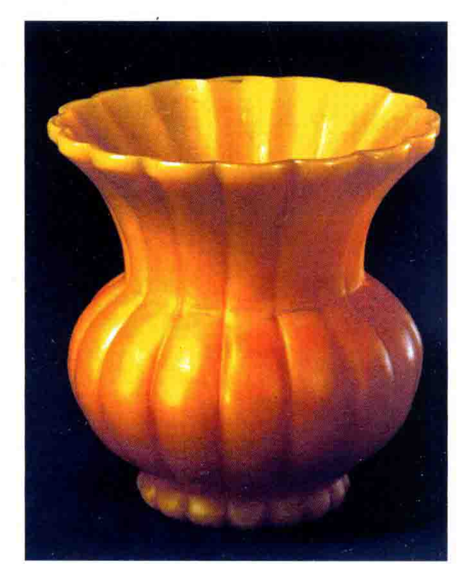


图12.6 清雍正时期黄玻璃菊瓣式渣斗(故宫博物院藏)

历史学者和文物收藏界普遍认为,清乾隆二十余年以后,造办处玻璃厂的产品水平急剧下降。也有人以为,这个现象与纪文的死去有直接关系。这样说并非没有道理。但是,从纪文去世到清代灭亡的150余年中,玻璃厂的产品一直走下坡路,那就是社会变迁国力衰败所造成的了。

对造办处玻璃厂烧制玻璃的工艺技术，已有许多专家做过探讨。从清代康熙年间开始，聘请西方玻璃制作技师，在玻璃制作上引进了西方技术，主要体现在：① 雕花的琢磨工艺；② 套色的搅丝工艺；③ 用金（Au）胶体颗粒着色的金红玻璃；④ 基质玻璃还是应用元、明时期博山的玻璃成分 K_2O–CaO–SiO_2，但引氧化硼提高玻璃的物化性能。清代玻璃的化学成分见表 12.2[11]。据造办处当年的档案来看，其所用窑炉有大窑、小窑之分，大窑可制造大型的玻璃器。这和当时博山所用的炉型（详见 12.3 节）明显是不同的。所用燃料是木柴。其熔炼玻璃所用配方，早期受西洋配方影响，比如投入硼砂和白砒等；后期基本采用博山的传统玻璃配方。至于玻璃厂所熔炼出的各种玻璃的颜色和产品的各种名称及造型，有人根据乾隆年间的造办处各作成做活计清档做过统计，从这个统计中大约能看出当年造办处玻璃厂产品的面貌和技术水平。

档案中所见的玻璃颜色有：

白：亮白、呆白、月白。

黄：黄、呆黄、柿黄、鹅黄、酒黄、琥珀色、金珀色、米黄、茶色。

红：红、大红、亮红、粉红、金子红。

蓝：亮蓝、呆蓝、紫青、深蓝、雨过天晴、顶元紫、顶元紫青。

绿：绿、亮绿、浅绿、翡翠。

套色：套红、套绿、套蓝、套紫、套青、亮白套红、呆白套红、月白套红、米色套红、呆黄套红、呆蓝套红、绿套红、红套白、红绿套白、红套蓝、红套绿、呆白套绿、米色套绿、呆绿套蓝、蓝白。

复色：金星、绿金星、金星红、蓝金星、缠丝、白缠丝、呆白点子、白玻璃点红。

档案中所见的玻璃器形有：

碗盘类：碗、盏、盘、盆、钵、小碟、茶盅、寿星小盅、小盅、大碗、铙碗、盖碗、小盖碗、菊花碟、菱花托盘、花盆、盆景、面盆、有盖痰盂、鱼缸、平底缸。

表 12.2　清代玻璃的化学成分　（%）

试样名称	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	PbO	CoO	B_2O_3	CuO	As_2O_3	产地
套料玻璃（白）	64.91	0.54	0.11	2.03	0.13	15.34	3.90	4.57		2.59		2.28	北京
套料玻璃（红）	65.52	0.32	0.12	2.04	0.07	14.41	4.44	4.57		2.30		2.45	北京
蓝色瓶耳	66.53	1.03	0.25	1.85	0.02	15.78	3.87	4.86	0.18	2.05			北京
透明孔雀蓝描朱玻璃水盛	74.80	1.63	0.15	0.19	0.04	20.89	0.18	0.25			0.49		北京
透明琥珀色鼻烟壶	67.74	0.80	0.37	5.61	0.09	21.76	0.42	0.23					北京
浅绿玻璃碗	69.80	1.22	0.29	14.10	0.09	0.28	11.98						广州
乳白花瓣玻璃	60.57	5.66	0.48	12.39	2.21	12.76	3.88						北京
深蓝色玻璃料块	59.17	3.93	0.93	6.38	0.87	2.79	17.51						广州

注：光谱分析表明，红色玻璃中有微量金元素。

瓶尊罐类：花瓶、小瓶、大花瓶、六方瓶、小扁瓶、方瓶、酒瓶、胆瓶、蒜头瓶、葫芦瓶、合欢瓶、八棱瓶、纸槌瓶、有棱瓶、橄榄瓶、焦叶瓶、观音瓶、双管瓶、小梅瓶、双喜瓶、松竹梅瓶、包袱式瓶、双陆马瓶、马瓶、匙筋瓶、六方尊、双喜尊、合欢罐、石榴罐、美人觚、渣斗、鼻烟壶、鼻烟罐、花浇。

文房陈设类：笔筒、笔架、笔洗、水盛、小水丞、水吸、棋子、大棋子、象棋子、葵花洗、菱花洗、如意、规矩套、方盒、香盒、三足圆盒、压纸、花插、花囊、石榴水盛、圆章、引首、插屏、桌灯、灯套、灯、灯罩、蜡阡、磬、玻璃花陈设。

法器供品类：念珠、教珠、朝珠、经匣、五供、法盏、小圆炉、小乳炉。

其他：帽顶、鹅脖、太平车[9]。

以上的这个统计比较详尽，但须进一步加以说明。

查乾隆十七年（1752年）造办处档案，其工料清单中有“配玻璃用头等金叶三两”一项，对照上述各种玻璃颜色中，就有“金子红”一种。这是用黄金为着色剂熔炼出来的具有深沉的玫瑰色的半透明的玻璃料，是由西洋人带来的配方和技术；在造办处玻璃厂的产品中，这种颜色较为多见。尤其在乾隆年间，用半透明的白色玻璃作“地”，外套以“金子红”色制成的鼻烟壶，再施以精细的雕琢工艺，在当时就颇受人们的喜爱，到嘉庆年间，社会上就已经称其为“老套红”，足见其珍视程度。

这种“金子红”于嘉庆年间传入博山，博山胡姓一家于嘉庆二十五年（1820年）创建万祥炉，第一个熔炼出了这种玻璃，称作“金红”。其法是以足赤金捶成极薄之金箔，剪成韭叶宽之金叶。再用铜碛加入其他材料提炼一种药物，置瓷碗中，加热熔化金叶，当水晶玻璃料接近成熟时投入，即得金红。不过近世已改用“王水”溶金。若继续用原硝罐熔炼金红，投金量可减少。此种金红的配方和熔炼技术，在博山并未失传，只是近年已很少再熔炼了。图12.7为胶体金颗粒着色的“金子红”花鸟纹长颈玻璃瓶。“金子红”玻璃着色机理可参见本书第2章的相关部分。



图12.7　白地套红清代花鸟纹长颈玻璃瓶

造办处玻璃厂所熔炼的一种黄色玻璃料，光泽晶莹、温润凝重，抛光后似被酥油浸透。这种黄色玻璃的配方和熔炼技术于民国年间传入博山。当时曾有许多家炉户都想试熔这种黄色科，因为这种料价格昂贵，且最受买主欢迎。但最后只有周氏鸿升东炉一家熔炼成功。博山人给这种黄料起了个很形象的名字，叫做“鸡油黄”，其成分是以铅、砷含量高为其特征（图12.8）[12]。在熔炼中，由于此料有瞬间呈色的特性，往往在制作过程中，铅继续氧化而使后面的产品改变颜色。而且其成熟温度难以把握，十次之中难有一两次成功，风险也很大。正因如此，国际工艺品和古玩市场一直将鸡油黄视为最贵重的玻璃色料，价格居高不下。近年来山东博山、河北衡水等地多有熔炼此料者，但很少有达到理想效果。


图 12.8　清代黄色花卉纹长颈玻璃瓶

上述统计中所提到的“金星”玻璃，不是中国传统的玻璃品种，是在西方传教士汪执中、纪文的参与和制导下，于乾隆六年（1741 年）烧制成功的，但当时的产量很少。最早有人用其译名，称其为“咖什伦”或“温都里那石”，后来，大家都叫它“金星玻”。它是一种含有结晶颗粒而显示金属色泽的闪光的玻璃，原理是利用某些金属如铜等在玻璃液中溶解度很小的特性，而在一定温度下从玻璃液中析出，获得金属色泽和星光效果。比较典型的玻璃器物是藏于故宫博物院的乾隆时期的金星玻璃三阳开泰山子和金星玻璃天鸡式水盂（图 12.9）。这件金星玻璃天鸡式水盂采用“失蜡铸造法”制作，也有人称之为“水晶玻璃脱蜡制造法”。此水盂长 21.5 cm，高 15 cm，鸭嘴、羊须、凤尾，呈卧姿回首状。表面纹饰细致而精美，天鸡造型是取其神威以保平安的意思[5, 10]。所谓“绿金星”“蓝金星”等都很常见，是因为金色只有在深色的地子上才能更光耀醒目，这是色彩学上的常识。至于蓝金星是有意仿青金石，也是有可能的。制作之法亦很简单：将金星玻料粉碎，过筛过箩，取粒度均匀适度者撒布石案上；吹蓝或黑玻璃泡，趁其未凝滚蘸金星玻粒于其上，再入炉加热使金粒与玻璃包融合，最后入模成型。继造办处玻璃厂之后，此法在博山延续未绝。

另外，玻璃厂的所谓“缠丝”和《颜山杂记》中所说缠丝不是一种工艺。前者是西方技术，两种颜色规整相间，不相混杂，依杨伯达先生称作“搅胎”或“搅纹”似乎更妥。图 12.10 为乾隆时期的搅胎玻璃瓶[12]。瓶高 20.8 cm，口径 11 cm。瓶喇叭状圆口，口沿外撇，颈直且


图 12.9　清乾隆时期金星玻璃天鸡式水盂（故宫博物院藏）


图 12.10　清乾隆时期搅胎玻璃瓶（故宫博物院藏）

较长，约占全器的二分之一弱。腹部类鹅卵形，最大径偏上，近底处束紧，高圈足。足底阴刻楷书“乾隆年制”四字款分布周边的上、下、右、左处。瓶的口沿和足部为碧绿色，颈、腹部饰白、蓝、红三色相间的条带纹，斜向缠绕全器，其颜色的相间规律为白、红、白、蓝。此瓶颜色纯正，质地洁净，造型雅致，纹饰流畅活泼，如行云流水，为本来静止的器物注入了勃勃生机，是不可多得的古代玻璃珍品[5,10]。

最值得一提的是造办处玻璃厂生产的鼻烟壶。这种产品在玻璃厂中所产的数量最大，而且在康熙年间开始出现，此前没有。玻璃鼻烟壶出现于康熙时期，这已由王士祯《香祖笔记》卷七中的一段记载所证实。该书写作于康熙四十二年至康熙四十三年（1703—1704）之间，作者所见烟壶虽“具红紫黄白黑绿诸色，白如水晶，红如火齐，极可爱玩”，但皆为单色制成。而且作者认为这些烟壶“皆内府造，民间抑或仿而为之，终不及”。王士祯似乎没有见过“套色”的烟壶。到同治年间，赵之谦（晚清书画家）的《勇庐闲诘》对此就有了更明确的记载：“康熙中所制，浑朴简古，艳照烂如异宝。乾隆以来，巧匠刻画，远过詹成。矩凿所至，细入毫发，扪之有棱。龙凤盘螭，鱼雁花草，山川彝鼎，千名百种，渊乎清妙”。这说明康熙玻璃烟壶尚简古，以色泽取胜，自是单色玻璃所制无疑。而“乾隆以来”所制，是精细的雕工胜过南宋名匠詹成的雕琢品。赵之谦曾说见过康熙时期的套色壶，“红者二，蓝者一”，以为“希世珍也”。这首先要对赵之谦所说的“套”，有一个比较明确的界定。其原文曰：“……更有兼套，曰二采、三采、四采、五采；或重叠套，雕镂皆精绝。”

这里面说明了三个问题：①“兼套”是指在白色烟壶的制作中，于壶之腹面趁热粘贴上一种或多种颜色的玻璃料块，并经冷加工将其雕琢成红花、绿叶、黄鸟、黑山石之类花纹。这种工艺近年来博山仍有，叫做“多彩”。赵之谦所见康熙套红、蓝壶，可能就是这种，而且只是“套”一种颜色。②“重叠套”是指后世所说的“套料”，张维用撰写《琉璃志》时给它定名为“套色琉璃雕琢”。这是用两种颜色玻璃复合制成的。传世的此类产品如瓶、碗之类，多为两色相套，烟壶则偶尔有三色的。张维用前些年琢有六层颜色相套的烟壶，那是特意为之。③无论兼套或重叠套，制成之后，只能算是一件半成品毛坯，不经过冷加工的雕琢是没有任何意义的。

据乾隆十八年（1753年）造办处所开一年的“工料价银清单”，有“硼砂，六百一斤八两，每斤银二钱四分，共用银一百六十八两四钱二分”一项。乾隆十八年（1753年），西洋匠役纪文尚在玻璃厂，玻璃配方中有硼砂是西洋玻璃的特征，可以提高玻璃耐热膨胀的能力，这是当时博山玻璃中所没有的。后来，博山的玻璃配方中有时也采用硼砂，熔炼出来的玻璃称“高料”，可见当时造办处玻璃厂的西方玻璃技术对中国玻璃业在许多方面都有一定的影响。

造办处档案道光十七年（1837年）玻璃厂“二次节活用过物料……分析细数”所开的“铁磨它（铊）”“松香”“皮条”“木轴”“铜它”“钢它”等物，说明当时玻璃厂已具备了与玻璃制造相配套的冷加工手段。传统的琢磨机械是用檀木轴；用双足驱动而以皮条传动；以松香和红土（氧化铁）混合而成的“火漆胶”可用于将铊轮固定在木轴端。铊轮有铁、钢、铜质三种，铁铊、钢铊用于粗磨，铜铊用于细磨。另有木铊轮用于抛光，未见于“清单”之中。当年担任冷加工的工匠，可能由苏州、北京等地征调高明的玉匠应差，而博山的“轮子匠”从

未听说有到玻璃厂服役的。这是因为博山轮子匠的技术水平远不及苏州、北京玉匠之故。这就是清代早期造办处玻璃厂各类产品琢磨精良的原因。

12.3 博山的玻璃制造业

山东颜神镇至少在元、明两代就已经是中国玻璃生产重要产地之一。其规模之大，技术水平之高，延续时间之长是其他各产地所不及的。经过了明末那场“琉璃之家，死者什九”的灾难之后，清代初期开始了迅速的恢复过程。颜神镇一向有煤炭、陶瓷、玻璃三大产业作为经济支柱，经过短期的休养生息，颜神镇民市殷实、税赋增加，终于在清雍正十二年（1734年）割益都、淄川、莱芜三县之地，于颜神镇设博山县。

博山的玻璃业在明代已有的基础上，从工艺技术、产品品种等方面又有了大的发展，其中最关键的一点，是作为玻璃业的根本设备——炉，有了功能上的分化。这种分化虽然在明代可能已经出现，但是到了清代才最后完成、定型，并一直延续至今。为了说明清代博山玻璃生产在产品品种和工艺水平上为什么会有那么引人注目的大发展，首先要从玻璃生产最根本的设备——炉谈起。

从博山大街发掘的元末明初的玻璃作坊遗址中的炉底部残迹来看，张维用认为这是一种“未分化炉型”。即在此炉中熔炼玻璃料液，玻璃工匠亦在此炉中取料制作各种产品。正因为此时玻璃炉的炉型基本是一种式样，这就大大限制了玻璃的颜色和产品品种的多样化。经过明代200余年的时间，博山玻璃业自身的工艺技术有了很大的提高，也越来越成熟。仅玻璃生产所用的炉型就分化为三大类，即大炉、圆炉、米珠炉。

12.3.1 大炉

大炉是把各种原料熔炼为玻璃，并可制成各种成品和半成品。其半成品——各色料条，又是圆炉和米珠炉的原料。所以说大炉是玻璃业的“龙首”，在玻璃生产中占有举足轻重的地位。

大炉的炉型分地上、地下两部分。地下有1 m多深的炉坑，其上为炉腔，两者之间以枣木棒为炉条。生火时，炉条上垫很厚一层炉渣，火势上升，空气由下补入，故炉温虽达1 000余度，枣木棒亦不至烧毁。炉腔中央置一坩埚，俗称“硝罐”。炉顶有孔，为出烟和火焰之处。炉正面开炉门一个，坩埚即由此置入炉中，并投入原料。坩埚四周加煤炭后将炉门砌死，只在坩埚口部稍高地方留一孔，为熔炼中继续投料和加添煤炭的地方。料熟，亦从此口取料。

大炉根据其所生产的产品不同，又分为若干种：

1）水响货炉

水响货炉又称响水货炉，是水货炉和响货炉的统称。小鱼缸（即麸缸，诱捕小鱼用）、琉璃水烟袋、糖水瓶、玩具葫芦等属水货；鼓珰、喇叭（即《颜山杂记》所说的“响器”）、抽筒（鱼缸换水用）等属响货。水响货炉所生产的多属小型、轻型产品，有一些属于年节应景的玩具之类，故水响货炉生产的季节性很强，只有每年冬季到次年春季是旺季，其他时间只得歇

炉另谋生计。水响货炉在生产工艺上的根本特点是不用铁吹筒，而是用《颜山杂记》上所说的“琉璃管”吹制。铁吹筒形制粗大，取料必多，所制作必是大型产品。

水响货炉的生产属小本经营，只需四人即可生产：一人看火，三人吹制。所用坩埚较小，熔料四十斤左右，原料多是用零星废料重新熔化。所用工具除“母杆”（即琉璃管）外，有剪刀、铁钳、棍头（即铁杖）等。其主要产品有一种叫做“鼓珰”的，是年节应景的儿童玩具，《颜山杂记》中曾描述过制作这种鼓珰的操作要领：“凡为鼓珰，先得葫芦，使微杠焉，以随气之动而得鸣”。这样说好像太简单，其具体操作是这样：右手拿剪刀和棍头，左手执母杆。用棍头入炉取料少许，滴于母杆一端，由另一端吹气。第一口气吹出鼓珰的杆部，第二口气吹出头部，然后伸到火门处旋烧其底，并用嘴含母杆先吸后吹，检验鼓珰的底部是否能震响。最后用剪刀接触母杆和鼓珰交接处，鼓珰即因受冷激而自动断离，叫做“卸货”。鼓珰直到近年仍有生产，古今一法，变化不大。《颜山杂记》所说“围棋滴之”的围棋子，也是在这种水响货炉上制成。

2）料条炉

料条炉又称“条炉”，专门生产供圆炉和米珠炉使用的半成品原料——料条。明代以前不用料条，而是用比筷子还细的料棒。料条的生产和使用始于清代中期。到清末，博山有条炉30家、炉40余座，所产料条成捆地运销北京等地。

条炉有两人即可生产，一人熔料，一人拔条。也有一人身兼二任的，也有炉主自任熔化而只雇一人拔条者。其工具只有拔条棍和铁钳。炉前铺设一条光滑的石板条道（近年皆改用长条形铁板）。拔条棍一端有圆形泥球，叫做“棍头”。操作也很简单：料熟后，双手握拔条棍，将棍头伸入坩埚内取足料（约七斤左右），右手执铁钳托住棍头处，至石板道一端，用铁钳夹住熟料，拉出料头，甩于石板之上，拔条者循石板道向前走，料即顺势淌于石板之上。待稍冷却，用钳掐成每根1 m多长，捆成三四十斤一捆，即可发卖。

3）“窑货”炉

这种炉专门生产瓶、碗、罐、坛等较大器皿类，因和窑场所产的陶瓷产品的品种相类似，故称其为窑货炉。乾隆以后，套色瓶碗之类出现，博山工匠在造办处玻璃厂学得铁吹筒的技术，博山生产此类产品才成为可能。到嘉庆、道光年间，已有博山的“吹玻璃匠”去造办处服役。窑货炉所产盘、碗之类，由于其原料配方的局限，往往不耐高热，只能作水果盘、洗手碗等用途。

窑货炉的生产工具主要有吹筒、滚药石、铁钳、剪刀和模具。一般的吹制分三道工序，即吹小泡、吹二泡、吹三泡。以吹筒入炉取底料，吹出小泡，在滚药石上滚匀，使呈蛋圆形。再次入炉取料，边吹边滚，滚成鸭梨形。第三次取料后，就要滚成产品的雏形，最后入模成型。出模后卸货，作退温处理。若吹制套色产品，因其壁厚，至少要取料四至五次，这和水响货炉吹制轻小、壁薄的鼓珰明显不同。

4）珐琅炉

因珐琅古称“珐蓝”，故珐琅炉又称“蓝货炉”，其产品为各种颜色的珐琅料，为用于景泰蓝、烧蓝首饰、画珐琅等工艺品和搪瓷奖章、徽章等表面的釉料，是一种半成品生产。据说，明景泰年间颜神镇即有珐琅炉一座，其起源，一说为山西传来。《颜山杂记》云：“玛瑙者，

珐琅点之"，这里所说的珐琅，应是颜神镇自产。

清代博山所产珐琅料有银蓝、铜蓝之分，也称银质珐琅、铜质珐琅。银蓝性软（熔点低），主要用来涂饰银质器物；铜蓝性硬（熔点高），可用来涂饰铜质器物。从颜色上分，银蓝又分蓝、绿、紫、黄、白、黑、红七种颜色。而蓝、绿色又分数种，如蓝有顶大蓝、大蓝两种；绿分顶深绿、深中绿、中绿、深湖绿、浅湖绿、松绿、黄绿等。铜蓝有蓝、黄、白、黑、红、绿、紫、青八色：其中，蓝叫铜大蓝；黄分铜大黄、铜杏黄、深松黄、浅松黄；白分铜瓷白、铜大白；红分铜粉红、铜大红；绿有蓝地绿；紫称铜大紫；青有深、浅丹青；黑称高黑。

珐琅炉和所用坩埚与一般大炉无异。使用工具有大、小火棒，大、小挖勺，铁锨，铁锅等。因旧时业主技术保守，配方秘而不宣，炉主往往于暗室之内称量各种原料，拌匀端出，故外人难得其详。有关资料所载几种配方，亦互有不同。总之，其成分含硅特少而含金属成分颇多，故熔点较低。将各种原料配匀投入坩埚，经12 h熔炼，料即成熟。以长柄勺取出，下接一小铁锨，以免滴落，置石板上，冷却后收入铁锅，即便破碎也都在锅中。

博山玻璃业的珐琅炉，张维用只调查到创业于道光年间的万源、万义盛两家，更早的炉户已难以知晓。万源因更换股东几经改组，先改名锦泰，光绪年间又改名同泰。并聘来河北涿县（今涿州市）制珐琅名匠卓某，雇工达二三十人，后卓某即任同泰经理。从同泰学徒出来的孙襄宸与其弟集资成立了景泰成珐琅炉，有炉三只，雇工十五人。万义盛也有十余名工人。

博山玻璃业的大炉，是在元、明时期那种未经分化的小型炉的基础上，通过自身的技术进步而创造形成的。这是地道的中国传统玻璃工艺技术，较元、明时期的炉有了很大的变化。首先，炉型的分化使产品的品种、花色向多样化方面发展；其次，炉型的增大使原来用焦炭作燃料改为用更廉价的煤炭成为可能。

博山玻璃业大炉生产的另一个主要设备是坩埚，博山人称其为"硝罐"，因其形似水缸，玻璃工匠又多称其为"缸"。

清代博山制作硝罐的原料为焦宝石和陶土。焦宝石即铝矾土。用石碾、石磨像磨粮食一样将焦宝石磨细，经竹筛筛匀。陶土是制陶原料，博山人称"大青土"。将陶土用窑户制泥之法碾成极细腻的陶泥。两种材料掺和在一起，用脚踏匀。一大堆泥须分多次才能踏完一遍。踏三遍为"一工"，须踏数工方可用，可见其制作工艺要求之高。稍一疏忽踏得不匀，在炉中的高温下容易破裂或出漏洞。踏好之泥，敷于一缸形木胎之上，用木拍板用力反复拍打，以增强其密度。稍干后，抽出木胎，将外表修平整，磨光，入窑烧成。

12.3.2 圆炉

圆炉是用条炉生产出来的各色料条为原料，作进一步的加工制作，生产出一系列小型的用于装饰、陈设和实用的玻璃工艺制品。

圆炉以其平面呈圆形故名。按张维用对现代所用圆炉实测的数据，其炉台面直径1.70~1.80 m，正中为直径28 cm左右的炉口。炉口处较高，炉台边沿部较低，距地面高约70 cm。清代圆炉规格应较此稍小。用六根铁制炉条铆接为"炉排"，斜砌于炉中，前端高出地面约40 cm，后端低于地面约10 cm，上为炉膛，下为炉坑，坑深约60 cm。炉台用黄土漫平，炉腔内填衬以耐火泥。炉口上置耐火土烧成的炉盖，称作"火盖"，呈鏊子形。火盖周围

根据生产不同产品的需要，留有不同数目的火孔，称作“炉口”，几个炉口决定有几个人围炉生产。炉口数是根据生产时熔料的大小和操作时上臂活动的幅度来决定的。

圆炉以其所生产的产品不同，也分若干种，其主要区别在于炉口上之火盖留有的炉口数不同。然而，圆炉工匠往往只能掌握一类产品的制作技术，所以不同类型的圆炉也是不能混用的。

圆炉以其所生产的产品来分，大约有以下几种：

1）擀珠炉

珠类是中国出现最早的玻璃制品之一。在圆炉上制作的珠，根据其工艺操作的特点，称作“擀珠”，和《颜山杂记》所说的“大珠缠之、戛之”是相通的。生产擀珠，工匠上臂活动的幅度大，火盖上只留有六个炉口，是各类圆炉中炉口数最少的。

生产擀珠的工具有杖子、搓板、搓石、铁钳、模槽、叉子、灰锅等。杖子是制珠最主要的工具，近代是用12~14号弹簧钢丝入炉退火并擀直而成。在没有弹簧钢丝的清代使用什么材料，张维用尚未能详考。搓板为一带木把的小铁铲，搓石为一长方形砂岩，这两件工具和铁钳是所有圆炉生产时所必备的，尤其是铁钳，号称“炉匠之手”。模槽是用一种叫做“模石”的细质砂岩做成的弧形直槽，叉子是用废杖子制作的小铁叉，这是擀珠生产专用的两种特殊工具，必须工匠本人根据所制产品的规格精密制作。灰锅是一口盛有草木灰的铁锅，置生产者的左足旁。产品制成，随即埋入草木灰中，令其缓慢冷却，以达到退温的目的。待第二天开始生产之前，将前一天的产品一一取出。灰锅是圆炉生产所必备的。

制作擀珠之前，先要在杖子前端的三分之一处挂一层泥浆，晾干后入火烧一遍。泥浆是将罗细的炉灰加黏土用水和成。这样的杖子要备几十根到百余根。生产时，左手执杖子伸入炉口中，右手执料条入火熔化，搭上杖子，左手捻转杖子，料丝在杖子上缠成珠粒。视其粒度达到所需规格，即依次再缠第二粒。待将挂泥浆的部分缠满，大约有十数粒珠，即用叉子夹住每粒珠的两端，在模槽中滚一个来回，使珠粒圆正，这应该就是《颜山杂记》所说的“戛之”。因为这个动作在博山方言中叫做“戛悠”。之后，随手埋入灰锅退温。

擀珠从形状上分，有圆珠、算式珠、心式珠、棱珠、莲子珠、扁莲子、长莲子、石榴子、瓜棱珠等。从用途上讲，有佛珠（即念珠）、帽顶珠等。其规格以每一百粒一串的重量来表示，从五钱、一两直至十六两都有*。十六两至二十四两规格的大珠，售价及工价皆以粒计算。二十四两以上大珠规格则根据珠的直径计算，用寸、分表示。

2）烟嘴炉

乾隆以后，旱烟开始在社会上流行。最初的旱烟袋上不装烟袋嘴，后来有装玉石嘴的。但玉石嘴价昂，难以普及，于是博山玻璃工匠制出了各种各样的玻璃烟袋嘴，很快占领了市场，使烟袋嘴成为博山玻璃的主要产品之一，而以咸丰年间烟袋嘴的生产最为兴盛。

烟袋嘴从制作工艺上分，有轴子嘴和杖子嘴两大类。先出现的是轴子嘴，系在圆炉上用

* 旧制一斤等于十六两；当时的十三两六钱相当于500 g。

铁线、钳、搓板、搓石、扎眼针等工具制成。其工艺过程分粘坯、卷剂、扎眼、捏花头、拉筒、擀身、卸货倒头、印顶等工序。轴子嘴都须经轮工加工，加工量一般都较大，属细活类。杖子嘴制作工艺简单，产量高，轮工加工较少或不加工，故价格便宜。其工艺是在擀直的杖子顶端用泥浆做成内芯，伸入炉口，将料条入炉熔化，缠到内芯上，在搓石上用搓板擀成一端粗一端稍细，初具烟袋嘴雏形，即卸货埋入灰锅。第二天扒出，交轴子嘴工匠用铁线粘住烟袋嘴粗端，将细端入火熔软，以印顶针印顶始成成品。咸丰年间，有张姓轴子嘴工匠创造了在模槽上擀成有顶杖子嘴的一次成型工艺。

烟袋嘴的样式和规格非常多，主要的有顶部为弧形的"苏帽"类，多销于苏州、山西；顶部厚大的"厚头"类，多销于关外；仿玉嘴平顶样式的"平帽"类，则多销于北京。另有许多特殊式样。如形体细长、直径在7 mm以下、脖长于身的"高丽嘴"，专销朝鲜半岛；两头尖如橄榄的"莲子嘴"，叫做"小弓身"，专供女性使用，故又称"坤嘴"，多销苏州一带；还有"方身堵膛"是仿玉嘴样式，其身形三面圆一面平，售价高，会做的人不多。经轮工加工，还有方形的"四喜"和"八方"等式样。其规格有"小中""大中"；形体加粗的叫做"加重"，形体稍细的叫做"轻小苗"。

咸丰年间，有李姓轴子嘴工匠调配玻璃颜色，制出"充玉"烟袋嘴，一时推广开来。后来又相继出现"雪花翠""红玛瑙"等烟袋嘴，不过时代要晚些。

3）杂货炉

凡擀珠、烟袋嘴之外的圆炉产品，皆归杂货一类，大体包括镯、料兽、烟壶坯、扣、宫璧、簪、别子、耳坠、戒指、戒面、搬指、棋子、兽眼、神眼、料花、花果、筷子、取火珠、花球等。

杂货类产品的制作虽因其品种不同，各有其一整套工艺技术，但都不出"粘坯"和"捻丝头"两大类。粘坯，是截取适当大小的一段料条，熔化后沾在铁线顶端，再入炉熔化，制成一件产品。镯、料兽、烟壶坯、筷子、取火珠等皆用此法。捻丝头，是将料条一端入炉熔化，将熔化部分制成一件产品，再继续入炉熔化制作，凡扣、戒指、料花、棋子、兽眼之类皆用此法。杂货类主要产品制作等情况略述于下：

（1）镯。这是圆炉杂货中的主要产品之一，不同于大炉所产的"噹噹镯"。噹噹镯是从大炉坩埚中直接取料，缠到一段铁筒上而成。其镯的横截面外沿呈圆弧形，内呈平面。制成之后，以敲刀敲击铁筒卸货发出"噹、噹"声，故名，其镯颜色单一。而圆炉所制之镯，横截面皆呈圆形，颜色、样式、花纹可任意变化，尤其可以做出充玉仿翠的效果，很少有单色的，一般是二至四色制成，叫做"钩色"。其较典型的花色有血汉翠、苏汉翠、白玉翠、孔雀翠、百子玉、红玛瑙、雪玉玛瑙、三鲜等，品种非常多。其规格以镯的直径表示。也分细货和行货。一般截面积大的为细货，截面积小的属行货。细货多销于川、滇，行货多发西安，湘、赣、苏、皖诸省则细、行兼销。

制镯所用工具略同于制轴子嘴，只是增加了镯胎、扁嘴钳两种专用工具。镯胎是一圆锥形体，成型的镯趁软往镯胎上一套，可保证镯内径的圆正；扁嘴钳可避免制作中将镯捏扁。

（2）料兽。以红、黄、蓝、绿、黑、白等对比强烈的色料，制成狮、虎、牛、羊、犬、马、猴、兔、鸡、鸭等形象，色彩明快艳丽，造型憨拙质朴，是小儿玩具，亦是独具民间和地方特色的陈设

品。因其大多四足粗壮、背脊扁平，故工匠们往往自己称其为“小板凳”。以“粘坯”工艺，用小钳、剪刀、搓板等最简单的工具将熔软之料任意捏塑，制成各种形象生动、憨态可掬的小动物。但自从1958年博山派技术人员去北京料器厂学习用灯工制作料兽的工艺，所作趋于精细灵巧，用色亦渐素淡，博山传统料兽粗犷淳朴的特色遂被阉割。

（3）烟壶坯。玻璃烟壶出现于康熙年间，但最初之烟壶坯是否为博山所制，尚无从考察。乾隆年间著名的套金红色的“老套红”烟壶，其壶坯也难断定为博山所产，因为当时博山尚未掌握金红玻璃的熔炼技术。不过从这以后，博山就出现了烟壶生产，到道光年间，博山烟壶坯生产已趋于兴盛。最初，博山所产烟壶坯系由大炉吹制，虽然工效高、成本低，但烟壶壁厚难以均匀，而且在大炉上不能做出充玉仿翠等效果。于是由圆炉杂货工匠创造出一种在圆炉上成型烟壶坯的新工艺。

圆炉制作烟壶坯所用工具，除杂货生产所用工具外，另有专用工具“撑钳”。其制作工艺，外人难得其详。以制作内画烟壶坯为例，所用料条是一种宽约四指、厚约一指的特制水晶料条，叫做“宽水晶条”。用长钳夹宽水晶条一块入炉熔化粘于铁线顶端，再入炉熔化，用搓板在搓石上团成圆形。再入炉熔化，取出用小钳将玻璃料捏拉成碗形。再入炉加热，继续用小钳将碗形捏拉成深杯形。再入炉，取出将杯口封死，成一空泡，并用搓板在搓石上将泡压扁并擀出壶颈部，使成壶坯雏形。铁线一端为壶口，封死一端为壶底。或再入火，加以修正。最后卸货，埋入灰锅。烟壶坯必经轮工精心琢磨始成精美之烟壶。若制套色烟壶，须在玻璃料团成圆形之后，再熔化其他色料条裹于其外，必使所裹之色均匀。当捏成杯形封口时，底部必然像北方人包蒸包那样，多有折皱，故轮工琢磨之后仍留下“菊花底”。

（4）簪珥之属。从博山元末明初玻璃炉遗址所出，到《颜山杂记》所记，簪珥之属一直是博山玻璃业的主要产品。但随着社会的进展和博山玻璃产品的发展，簪珥之类在博山玻璃产品中，除镯类一枝独秀之外，其他各类渐渐退于次要地位。也有制作仿翠搬指之类，几可乱真，可获高价，但终究不多。其他如帽顶、佩饰等，自有造办处玻璃厂承做，不必由博山提供。加之此类产品工艺简单，故从略。

（5）花球。光绪三十三年（1907年）初秋，由博山人开的北京鸿兴永料货庄将一只瑞士产花球带到博山，请博山玻璃工匠仿制。当时有制鼻烟壶坯工匠张氏父子仿制成功。这是一种预先排好平面花纹而制成的花球，被取名为“万花球”。送去北京，销路很好，随后即有许多工匠效仿制作。花球的制作是在近年才有了大的发展和创新，先是创造出了“扎瓣花球”，使平面的图案成为立体的图案。后来改革不断，产量大增，终于成了博山玻璃业的重要产品，花球生产也从“杂货类”分离出来，成为一个重要的门类。

12.3.3 米珠炉

清代博山玻璃炉的第三种炉型为米珠炉。凡这种炉上生产的较细小的珠类，博山人统称“米珠”。

米珠炉是博山三种玻璃炉型中最小的一种，只可供两人拥炉对坐生产。其炉高约75 cm。炉台面长约110 cm，宽约65 cm，四角为圆角，两侧中部各留一弧形凹进，以便于操

作。炉条斜砌，下为深约30 cm的炉坑。炉腔颇大。唯炉口形制较为特殊，为一长约30 cm、宽约5 cm的长方孔，斜开于炉面中部。长方孔居中处又留一直径约10 cm的圆孔，为加添燃料之处。生产时，圆孔上压盖半块耐火砖，叫做“中砣”，使火焰从中砣两侧的方孔中吐出，米珠工匠各据一孔进行生产。有人把米珠炉和博山大街古代玻璃炉遗址中残存的葫芦形炉底相联系[14]，张维用以为没有道理。

米珠炉的主要工具是杖子，这是采用更细的铁丝擀直而成，需要很多根。生产前先要在杖子上挂一层泥浆，叫做“灌杖子”，晾干备用。生产时，左手执杖子横置火口上，右手持料条入火熔化，将熔化的“丝头”搭上杖子，左手顺势捻转一至两下，丝头即在杖子上缠成一小珠粒。右手随即向回抽，拉细丝头，接着依次缠第二粒珠。这个向回抽料条拉丝头的动作叫做“卸丝”，应该就是《颜山杂记》中“细珠写之”的“写之”，其说详见张维用著《〈颜山杂记·琉璃〉校注》。缠满一杖之后，埋入灰锅，再接着缠第二杖。

米珠的品种、规格也颇复杂。品种大体有圆珠、莲子珠、瑶珠等。瑶珠已详述于前，虽历代不衰，但生产数量不是很多。

清代博山玻璃业的工艺技术和产品等情况已介绍于前，下面简介一下与玻璃业有关的冷加工生产。

清代博山玻璃业的冷加工大体有穿珠帘、轮工、阴纹刻花、铺丝、内画等。珠帘在清代仍有生产，但已不是《颜山杂记》所说的“青帘”，而是用各色米珠穿制成各种图案的门帘；轮工以磨烟袋嘴、鸦片烟灯罩、花球底等为主，工艺简单，皆无甚可述。阴纹刻花即清宫造办处档案中一再提及的“刻花”。这种工艺，博山人叫做“割花”，又叫做“拉（读阳平）白横（读如回）”。张维用撰写《琉璃志》时给其定名为“阴纹刻花”，以区别于后来的套料雕琢。同治九年（1870年）左右，有北京阴纹刻花艺人晏氏兄弟来博山谋生，传其艺于博山李氏家族。博山阴纹刻花较之宫中玻璃厂所制，风格更为粗犷率真，而其制品多为水晶笔山、水晶仿条、水晶花球之类，于背面刻花，在正面看去略具浮雕效果。此品近年已不复见。

铺丝类产品为灯、屏之类。于水响货炉上拔出极细之玻璃丝，截短成束。将玻璃丝在案上斜铺成屏匾大小，再用鳔胶铺上画师所画画片。画片上再用鳔胶，取相反方向再斜铺玻璃丝一层。干后裁齐、贴边、装框即成。在平板玻璃不能普及的年代，这样的铺丝灯屏当然是装饰室内外环境和年节渲染气氛的上品。明徐㶿《徐氏笔精》云“料丝灯出滇金齿者胜”，不知明代云南的“料丝灯”和清代博山的“铺丝灯屏”能相似到什么程度。近读《国朝山左诗抄》，有任浚《京邸元夕咏料丝灯屏》一首。任浚，山东颜神镇夏庄人，明崇祯进士，清康熙时官至刑部尚书，与孙廷铨同时。这首诗是他在京城做官时所作。诗云：“云屏曲曲试春灯，幻出瑶台十二层。璀璨漫疑施杂组，通明共羡列条冰。光瑶绮席兰初爇，影射珠帘月共澄。独有颜神山下客，今宵乡梦定应增。”这里作者说的是“料丝灯屏”，并非用珠穿成，明显和明代《青州府志》所说的“珠穿灯屏”不一样。但这料丝灯屏必是博山（颜神镇）所产，不然，这位“颜神山下客”怎么会在看了“料丝灯屏”的当天夜里，一定要多做几个思乡的梦呢？这应该就是后来博山的“铺丝灯屏”。可见博山的铺丝类产品至迟在清初即已出现。

内画烟壶出现于同治年间的北京，名家辈出，颇受世人欢迎。光绪十六年（1890年）传入博山，经几代艺人的努力，终于形成了鲁派内画流派，与北京、衡水成三足鼎立之势，此是后话。

12.4 清代其他玻璃产地

清代中国的玻璃产地，除博山外，尚有其他产地，简介如下。

广州是中国自制玻璃的重要产地之一，也是进口玻璃的门户。广州生产的玻璃当时俗称“广铸”或“土玻璃”，轻薄而脆，传世品极少，对其原料配方、烧造方法，目前尚不清楚。广东一带生产玻璃的历史较为久远，而且其工艺技术一直和西方玻璃技术有着密切关系。广东生产玻璃的记载，最早的当推东晋葛洪的《抱朴子》：“外国作水精碗，实是合五种灰以作之，今交广多有得其法而制作之者”。明代郑若庸《类隽》引《南州异物志》云：“琉璃本质是石，欲作器，以自然灰治之。自然灰状如黄灰，生南海滨……石不得此灰，则不可释”。可知宋代粤地亦有玻璃生产。又据清同治时蜀人王侃《江州笔谈》载：“前明三保太监始自西洋携其匠入中国，本朝二百年来，惟广州人能之。今前后来重庆支炉者三家，盖巴峡中有矿可采，故竟来相就，而此物由是价贱蜀中矣”。由此足见广东一带自晋至清，玻璃生产未尝中断。且于同治年间扩散至蜀，在重庆支平板玻璃炉三家（详见下文叙述）。又据清造办处各作成做活计清档有提到“粤海关万寿贡进玻璃盖碗”等项，说明清代广州还向宫廷交纳贡品，但“无论在质量上、艺术上都有缺陷”[14]。

清代的北京地区确有过玻璃生产，然而与宫廷造办处玻璃厂相比，似乎影响要小一些。至于明代以前，北京是否有过玻璃生产，文献缺乏记载，张维用也是持否定态度的。因为明代宫廷所需玻璃制品如青帘、佩饰、珠穿灯屏等，是通过内官监派遣有匠籍身份的匠役在京城之外的“外厂”即颜神镇来为其监制的。至于明代刘侗在《帝京景物略》中所说“东之玻璃厂”所卖的盛朱鱼的“琉璃瓶”，为民间消费之物，应是由颜神镇贩运进京的，不必是北京所产。清代北京所产玻璃，至今所知不仅有烟壶坯。清宋荦《筠廊偶笔》中就提到过北京琉璃厂有卖“响葫芦”又名“卟卟通儿”的，事实上就是鼓珰。他还说“刘比部公㦷曾买一枚，于马上弄之”。鼓珰之为物，极轻薄，倘于博山裹草装筐，担行百余里贩至莱芜、泰安一带，路损尚小。若以车辆远运京城，则必为齑粉矣。故此响葫芦应为北京所产。另《依晴阁杂钞》所云更为明确：“（北京）琉璃厂……所制，一曰鱼瓶，储红鱼，杂翠藻其中。一曰葫芦，小者寸许大或至迳尺，其紫色者居多”，这就肯定了这些鱼瓶和葫芦为北京所产。这几种“空之属”的玻璃器，都应是在“水响货炉”上用“琉璃管”制作的，可见博山的那种水响货炉在清代已传入北京。然而，清代北京玻璃产品中最值得注意的还是烟壶坯——这里是指北京民间作坊所产的烟壶坯。清同治年间赵之谦所撰《勇庐闲诘》云：“鼻烟壶……凡所造作或称‘皮’。最著者曰‘辛家皮’‘勒家皮’‘袁家皮’”。这里的“皮”，应读作“坯”。赵之谦还在文中“辛家皮”下注曰：“最精洁，其色屑珍宝为之，光彩夺目”；于“勒家皮”下注曰：“藕粉地若冰雪，设色亦异，红紫苍翠，天然间迭”；于“袁家皮”下注曰：“与辛家皮相近”。“袁家皮”体重而胎薄，色彩较为丰富，擅长随色作花，“桃花洞”是其代表作。以张

维用观之，所说辛、袁两家以制作单色的烟壶坯为擅长。即王士祯所说“具红紫黄白黑绿诸色，白如冰晶，红如火齐，极可爱玩”者；而“勒家皮”应是以《勇庐闲诘》所说的“兼套”和“重叠套”烟壶坯著名。此两种壶坯，是在“大炉”上吹制成型，还是用博山玻璃工匠所创造的“圆炉”制壶工艺所成，尚难以断定。而《勇庐闲诘》又说：“点缀五色，如星在天，曰‘桃花洞’。自此制行，遂有琢玉石、罗珍宝，以示夸耀，争相引重，不知其为耳孙也”。初读此处，不知“桃花洞”究为何种面貌，以至于开玉石烟壶之先河。后于古董商处得见几枚真“桃花洞”烟壶，始知其绚丽夺目，非当时博山充玉仿翠及点玛瑙诸品所能及也。“桃花洞”确为奇品，绝非在大炉上从坩埚中直接取料的工艺所能制成，必须在圆炉上以《颜山杂记》所说的采用“糅、钩、点”等技巧方能奏效。由此可见，清代后期，博山圆炉技术也已传入北京，且“桃花洞”的工艺水平已达出蓝之胜。唯北京玻璃生产规模不大，产量甚少，尚未形成行业，故影响终未远也。

除以上张维用所知清代玻璃产地外，尚有苏州、交城、丹阳、重庆等处。苏州出产玻璃，文献记载甚少，张维用唯见梁同书《古铜瓷器考》中偶尔提及，且言“苏铸者更不及广铸”。山西交城出产玻璃，见《太原府志》，已述于前。博山老玻璃工匠曾讲，20世纪40年代其曾逃荒至哈尔滨，从事玻璃业，与交城玻璃匠接触。据交城玻璃匠讲，其地确有类似于水响货炉的技术，所用燃料为焦炭。丹阳产玻璃器，见《辞海》“料丝灯”条注：“料丝灯……旧产滇南之金齿卫。后丹阳人潘风得其法，归而仿造，于是丹阳有料丝灯。查初白有《料丝灯》诗”。查初白，名慎行，清康熙、雍正时人。可见丹阳产料丝灯为清代事。唯查古代地名为“丹阳”者至少有三：一在湖北秭归，一在安徽当涂，一在江苏镇江。潘风仿料丝灯究在何处，尚未确考。重庆生产玻璃始于清同治年间，是以西洋法生产平板玻璃。以上数端，暂志于此，以待今后研究玻璃史之学者留意。

中国传统玻璃工艺技术，在博山可谓正宗所在，且为集其大成者。其工艺技术的发展成熟也是在博山实现的。但从中国传统玻璃品的属性上来看，由于民族生活习惯尤其是传统玻璃原料配方所限，其产品多注重向装饰、陈设、赏玩方面发展，而不甚注重其实用性。清光绪三十年（1904年），山东巡抚衙门批复了山东农工商局的呈文，准予在山东博山创办“博山玻璃公司”，生产平板玻璃，并拨给库足银五万两作为官股，又于同年四月二十九日在上海《中外日报》上刊登“招股启事”，以广招股本。当时，清政府正推行“新政”，社会上掀起一股“洋务运动”，像博山玻璃公司这样的所谓“官督民办”的新兴企业，在当时正是一种时髦。与博山玻璃公司大约同时出现的生产平板玻璃的工厂，还有宿迁的耀徐玻璃公司、秦皇岛的耀华玻璃厂及汉口玻璃厂等，但以博山玻璃公司在当时的影响最大，在中国近代工业史上一直被誉为“新法制造玻璃之嚆矢”。

博山玻璃公司最初的厂房、设备皆由德国提供设计方案，其主厂房长约120 m、宽约25 m。配方、工艺技术等由德国人传授，并派来七名德籍技师。耐火材料、厂房的钢梁及电动粉碎机等设备亦由德国购进。其厂内设备情况，可由20世纪30年代的一份调查报告中了解一些：“厂内设有料炉、烘炉、摊片炉等。各炉所用的火力均由一隧发出（其隧开于厂之中央，乃穴地而成者），四面通连各炉，供给火力。其不需之处有活闸以闭之。有发动机以给动力，用以压榨原料使成细粉，俾易入炉。有煅石而成玻璃之炉曰料炉，与该县今日所用者绝

不同。盖现用者多以硝罐制炼而成。彼则以更代法炼取玻液：生料入于一端，所熟之料流至他端，工人即于此取出而制玻璃焉。”

由这段记述来看，当时博山玻璃公司是以煤气发生炉产生煤气作燃料；熔料则是用池炉；粉碎原料是用电动粉碎机。

博山玻璃公司当年所用配方是德国人传授的，其对后来博山玻璃业的配方影响很大。其各种原料的组合大致为硝石、紫石、硅石、信石、孟养石、玻璃屑、木炭、曹达。其中，紫石即萤石，硅石即石英，信石即砷，孟养石即二氧化锰，“曹达”为日本语，即纯碱。玻璃配方中采用纯碱，在博山玻璃业生产历史上是前所未有的。当时所用主要矿石原料如硅石、紫石、硝石等，都曾寄样去柏林化验。

博山玻璃公司制造玻璃的操作方法，不同于现代工业通用的平拉法、引上法或浮法，是一种比较原始的技术，张维用为其定名为“吹泡摊片法”。这种技术并不是创建博山玻璃公司时才传入中国的。王侃《江州笔谈》中曾详细记录了他和他的朋友参观当时重庆玻璃炉所见的情况：“昨偕友人往观，见炉炽石瓮通红，瓮身欹侧，其口外向，深二尺余。消冶石粉，如金之在熔。匠者力持四尺铁管，挑起如饧，旋转其管裹之，急以拍板相规，再入火中。移时，自管端吹使微空，复挑复裹，视其大如茹，持登木架，俯向地坑中，手转口次，渐长二尺余，大过合抱。既冷，赤色转绿，光明透彻可爱。脱其管，以金钢划开，有若瓦解。承以大土坯，入别炉烘之，则渐展平，以作镜屏各物，随料取用。问其火候，盖三昼夜乃能熔化也。”

王侃所记也是一种用“吹泡摊片法”制造玻璃的技术。时代要比博山玻璃公司早30余年，技术是从广州传来的。至于广州的该项技术是否三保太监下西洋、携其烧玻璃匠来中国时传至广州的，则尚待考。然王侃所见重庆玻璃炉为坩埚炉；坩埚为曲颈坩埚，高约1 m；所熔炼之玻璃不甚纯净，为绿色；所吹成之玻璃泡近于圆形。这样的工艺技术较之博山玻璃公司的技术还显得原始落后。

博山玻璃公司当年采用的制平板玻璃的工艺大体是这样：以铁吹筒探入池炉内，蘸取少量玻璃液，取出后捻转吹筒，使玻璃液成球形，复置一半球形铁槽内继续滚动。铁槽内应有少许冷水，使玻璃液温度降低，且使球形圆正。同时以水冷却吹筒被灼热的一端，以便于把持。再将吹筒探入池炉，二次取料，如前法操作。如是多次，直至玻璃液所成之球形直径达20 cm左右时，即置于一瓢形铁槽内，以水冷却吹筒下端而从上端吹气，使球形逐渐涨大，成为空泡，并时时转动吹筒，使球形空泡厚薄均匀。如少冷却，即将吹筒伸入烘炉加热。从烘炉取出，垂于一深地槽内，从上端吹气，于是玻璃泡因重力而坠入地槽成为筒状。此时玻璃筒厚薄尚不均匀，尤其底部较厚，但已冷却不能再吹，乃再入烘炉加热。待熔化变软取出，仍垂地槽内摆动旋转，同时吹气，务必使筒壁均匀而薄。如又冷却，则再入烘炉。如此数次，最后吹成一长2 m多、厚薄均匀的玻璃筒。玻璃筒吹成，先以冷热相激之法去其底，再从吹筒上卸下，用同法将玻璃筒截为数段，再将每段纵剖之，最后入摊片炉将筒形摊为平片[15]。

据1937年《续修博山县志》，博山玻璃公司的产品“尚属不劣”，但在20世纪20年代的有关资料中却说“其制品大反所料，不甚良好，实经营不善所至”。

在博山玻璃公司投产后不久，不知什么原因，公司所聘七名德籍技师离去。公司无法，乃改聘日本东京深川玻璃厂和大阪岛田玻璃厂的两名日籍技师，采用日本的技术全面改造

窑炉。他们将原来的池炉改建为由许多坩埚组成的长方形坩埚炉，其坩埚直径都在1 m以上。其吹制玻璃筒的方法亦与原法不同，其玻璃筒直径在80 cm左右。并在厂房的钢梁架上加上了一个小滑轮，玻璃筒用机器经小滑轮向上牵引提升。这种工艺和后来日本旭硝子所采用的工艺极其相似*。

在20世纪最初10年曾名噪一时的博山玻璃公司，投产后勉力支撑了4年多，花费了一百万两白银，终因种种原因于清宣统二年（1910年）全面停产。又因所欠大清银行款项无力偿还，遂于1911年彻底倒闭，公司一切资产收归官有。

与博山玻璃公司先后出现的几家玻璃公司，张维用未能一一深入调查。如耀徐玻璃公司经理许鼎霖，早在光绪二十八年（1902年）就发现了宿迁附近有大量的玻璃原料，遂将整个矿山买下。光绪三十一年（1905年），许与英商福斯特签订合同，筹建耀徐玻璃公司。公司投产不久，因在执行合同上与英商发生争执，英商福斯特竟于夜间“私将机器拆去，并带洋匠回沪”[16]。后经英国领事馆调解，中方让步，福斯特才答应将机器送回。英国领事馆调解的结果是：“福斯特君所有照合同未能完善之处，愿将后备大罐机二部及包工剩余物料一并奉送耀徐，不另索价。所有耀徐欠福斯特君余款，一并付清，作为了结”[16]。耀徐玻璃公司所遭遇到的事情和博山玻璃公司的夭折两相对照，就可清楚地说明一个问题：在沦为半封建半殖民地社会的中国，想要借助洋人的先进技术来寻求发展经济、振兴国家的出路是行不通的。

博山玻璃公司虽然短短几年就倒闭了，但对博山玻璃业的影响却很大。一些当年曾在玻璃公司工作过的博山玻璃工匠都学会了用“吹泡摊片法”生产平板玻璃的技术。于是有人在博山西冶街一带设厂，雇用曾在玻璃公司工作过的工匠生产平板玻璃。因为无力建造大型的池炉，就用传统的大炉熔炼玻璃，吹泡摊片。1914年第一次世界大战爆发，欧洲的玻璃生产遭到破坏，海上航线亦被封锁，中国的玻璃进口完全断绝。国内玻璃销价由战前的每箱6元陡涨至25元，后虽又跌至10元，亦颇有利可图。博山平板玻璃生产方如旱苗得雨，生产厂家多达二三十家。据说当时“上海、天津各商号皆来订货，北方诸省所需玻璃也皆仰给于此。北至满蒙，南迄南洋无不知博山玻璃之名”。直至1918年11月，第一次世界大战结束，外国玻璃再次涌入中国市场，加上秦皇岛耀华玻璃厂兴起，博山诸厂无力与其竞争，销路日蹙。到1919年，博山平板玻璃厂家尚余6家，规模亦大大缩小。此已是后话了。

参考文献

[1] 淄博市博物馆.淄博元末明初玻璃作坊遗址[J].考古，1985(6)：530-539.
[2] 延边博物馆，珲春市博物馆.珲春东岗子五组西甸子元明时代的文化遗址[J].博物馆研究，1993(1)：89-98.

* 1983年6月，张维用在山东省立医院高干病房采访了82岁高龄的卢开津先生。卢开津先生曾在20世纪50年代初筹建山东耐火材料厂时任总工程师，清理过博山玻璃公司旧址。关于日本技师改造窑炉的一些情况，系从当时采访记录中摘出。

[3] 抚余市博物馆.抚余市石桥欢迎砖场元墓清理简报[J].文物,1995(4):32-46.
[4] 杨伯达.中国美术全集:工艺美术编10金银玻璃珐琅器.北京:文物出版社,1996.
[5] 冯乃恩.古玻璃鉴赏与收藏[M].长春:吉林科学技术出版社,1996.
[6] 孙廷铨.颜山杂记:琉璃[M].[出版地不详]:[出版者不详],[时间不详].
[7] 刘成基,邱立诚.汕头斧头山明代墓葬清理工作报告[J].广东文物,1999(1):64-67.
[8] 关善明.中国古代玻璃[M].香港:香港中文大学文物馆,2001:391.
[9] 许建勋,林业强.虹影瑶辉:李景勋藏清代玻璃[M].香港:香港中文大学出版社,2000.
[10] 杨伯达.清代玻璃概述[C]//干福熹.中国古玻璃研究:1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京:中国建筑工业出版社,1986:108-124.
[11] 杨伯达.清代玻璃配方化学成分的研究[J].故宫博物院院刊,1990(2):17-39.
[12] 由水常雄.世界ガラス美术全集:第4卷 中国・朝鲜[M].东京:株式会社求龙堂,[时间不详].
[13] 杨伯达.清代玻璃概述[J].故宫博物院院刊,1983(4):3-16.
[14] 谢惠.山东玻璃业概况[J].交大季刊,1934(13):[页码不详].
[15] 中国玻璃工业之新趋势[N].总商会月报.1919(3):[页码不详].
[16] 汪敬虞.中国近代工业史资料:第二辑下册[M].北京:生活・读书・新知三联书店,1957.

第13章　中国北方和西北的古代玻璃技术

张　平

中国北方和西北的古代玻璃技术以往被关注和重视度不够，进入21世纪，对丝绸之路[特别是北方（草原）丝绸之路和西北（沙漠）丝绸之路]沿途的古代玻璃研究兴起，曾在新疆乌鲁木齐市召开过全国北方和西北古代玻璃学术讨论会议，并出版了英文版和中文版的论文集。

本章着重介绍中国北方和西北古代玻璃器的历史以及出土和考古情况。

13.1　新疆的古代玻璃

近百年来，新疆考古发现的古代早期玻璃制品的资料十分丰富，其中新中国成立前的实物标本均已流失域外。新中国成立后，尤其是近30多年的考古发掘，陆续不断地出土了各类玻璃制品。这些新的玻璃资料大都保存较好，极大地丰富了中国玻璃制造史的有关研究内容，是研究中国玻璃起源及科技文化交流的实物例证。

13.1.1　新疆各大遗址出土的玻璃

迄今为止，新疆考古发现的玻璃制品的时代，早至先秦时期。这些资料大多是发掘出土的，有可靠的出土地点、时代以及相关墓葬形制和共出土其他文物等作印证。新疆特定的地理环境及历史背景，特点鲜明的地域文化，尤其是考古发现的玻璃资料，为研究玻璃起源和交流的路线提供了重要的例证。现将新疆重要的有关考古发现介绍如下。

1）先秦时期墓葬出土的玻璃制品

新疆先秦时期的玻璃制品，是20多年来新疆考古发现中的新资料。尤其是近年来出土地域的不断扩大，已得到国内外对此感兴趣的学者关注。重要遗址发现有：新疆拜城克孜尔的青铜–早期铁器时代的墓地，已发掘过的160座墓葬中出土有单色玻璃珠饰[1]（图13.1）；轮台县群巴克墓地已发掘的56座西周中期至春秋中期的墓葬中，出土有单色玻璃珠和蜻蜓眼玻璃珠[2]；





图13.1 新疆拜城克孜尔西周至春秋M26墓葬出土的玻璃珠（新疆文物考古研究所藏）



图13.2 新疆哈密上庙儿沟战国墓地出土的玻璃珠项链（新疆文物考古研究所藏）



图13.3 新疆洛浦县山普拉Ⅰ号墓地出土的汉至魏玻璃珠（新疆维吾尔自治区博物馆藏）



图13.4 新疆洛浦县山普拉Ⅱ号墓地出土的西汉晚期蜻蜓眼玻璃珠和玛瑙珠项链（新疆文物考古研究所藏）

额敏县铁厂沟的春秋时期的墓葬[3]、哈密县（今哈密市）黄田农场上庙儿沟战国时期墓地（图13.2）和温宿县的包孜东墓地[4]等都出土了一定数量的单色玻璃珠饰品。

2）汉晋和南北朝时期墓葬出土的玻璃制品

汉晋时期墓葬出土的玻璃制品数量多、质量好、类型最丰富。其中，尤其是明显具有外来特征的玻璃器皿及黄河和长江中下游地区所产的玻璃共出土于同一墓地的现象值得注意。如新疆古于阗王朝的山普拉墓地，在已发掘的90余座墓葬中共出土单色、多色的珠、管、耳珰、挂坠、蜻蜓眼玻璃珠等达1 369件[5-6]（图13.3、图13.4）。于田县圆沙古城也有采集到的战国至汉代的蜻蜓眼玻璃珠（图13.5）。作为著名的西域三十六国之一的精绝国故址的尼雅遗址，仅仅在1995年所发掘的1号墓地中的M1、M3、M5、M8出土的帽饰、项饰、耳坠、挂饰、腕饰中的各类单色、多色即蜻蜓眼玻璃珠有数千件之多[7]（图13.6）。属且末王国境内的扎滚鲁克墓地，所发掘的二期和三期共百余座墓葬中，普遍出土了珠、管和蜻蜓眼玻璃珠。尤其是东汉至南北朝时期的墓葬里尚出土一件玻璃杯[8]（图13.7）。楼兰地区的营盘墓地，已发掘的260座汉晋时代墓葬中也出土了丰富的项饰、耳饰（图13.8）、佩饰、戒面等玻璃珠、管等制品，以及玻璃杯[9]；楼兰古城出土玻璃久负盛名，仅1980年的考古调查和发掘中，就出土了大量的玻璃珠、管及六件玻璃器皿的残块[10]。此外，和静县察吾乎沟的三号墓地也出土一批汉代的玻璃制品[11-12]。另外，在于田县喀拉墩居址晋代墓地还出土了镶嵌玻璃的铜扣饰（图13.9）。这一时期新疆出土古代



图 13.5　新疆于田县圆沙古城采集的战国至汉代玻璃珠饰（新疆文物考古研究所藏）



图 13.7　新疆且末县扎滚鲁克 M49 墓葬出土的东晋玻璃杯（新疆维吾尔自治区博物馆藏）



图 13.6　新疆民丰县尼雅遗址汉至晋代墓葬出土的玻璃珠、玛瑙项链（新疆文物考古研究所藏）

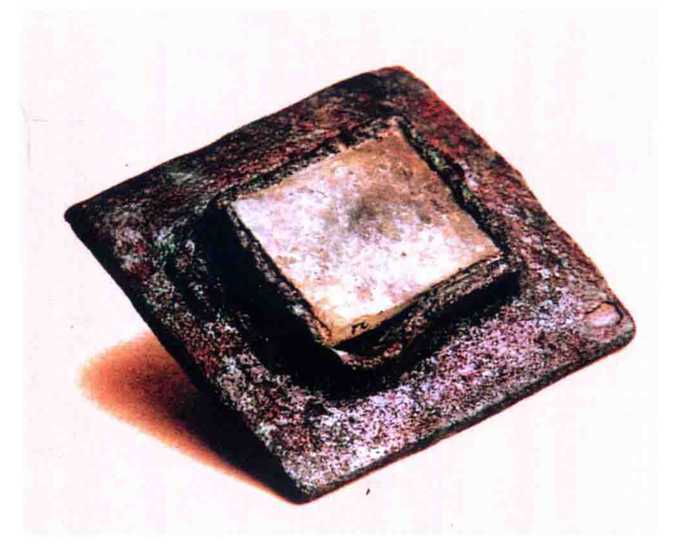


图 13.9　新疆于田县喀拉墩居址晋代墓地出土的镶嵌玻璃的铜扣饰（新疆文物考古研究所藏）



图 13.8　新疆尉犁县营盘汉至晋代墓葬出土的镶嵌玻璃银耳饰（新疆文物考古研究所藏）

玻璃的其他介绍，可参见本书第10章相关部分。

3）唐宋时期

这一时期出土玻璃制品的遗址遍布天山南北各地，其中吐鲁番地区的阿斯塔那墓群[13-14]、哈拉和卓墓群的500余座墓葬普遍出土过玻璃珠、管饰件；天山南麓的隋唐遗址出土的各类玻璃容器的残片资料极为丰富，如库车县森木塞姆出土过高足玻璃杯（图13.10），库车县库木吐拉、巴楚县托库孜萨来、柯坪县穷梯木、和田县的买力克阿瓦提和阿克斯皮力（图13.11）、策勒县达玛沟、于田县喀拉墩、民丰县安迪尔等重要城址中都曾出土大量的玻璃器皿的残块或残片；若羌县的瓦石峡古城亦曾出土一批无模吹制的玻璃瓶和其他玻璃器皿等[15]。



图13.10　新疆库车县森木塞姆石窟出土的隋代高足玻璃杯（新疆维吾尔自治区博物馆藏）

从上述简要列举的新疆古代遗址出土的玻璃资料中可以看出，新疆玻璃制品在分类和分期等有关问题上，已展现出这批玻璃资料具有一定的地域文化特点。如先秦时期出土最多的是绿色、蓝色等单色玻璃珠，不透明或透明度不好，杂质多，气泡多。玻璃珠呈圆鼓状、算珠形，造型大体相同，无纹饰，采用模压法的简单工艺等。汉晋时期出土的单色玻璃珠，种类和造型增多而复杂，色彩亦十分丰富；同时出现了鎏金、银（包金、银）、复色和各种蜻蜓眼玻璃珠等。尤其是这种鎏金、银工艺和蜻蜓眼的玻璃珠主要出土于具有显赫社会地位的王族墓葬中。黄河和长江中下游地区普遍流行的一种玻璃耳珰（亦称瑱）饰品亦出现在新疆的墓葬中。尤其值得注意的是，魏晋南北朝的重要遗址或墓葬中都普遍出现了来自西亚或地中海东岸地区的玻璃器皿。



(a)



(b)

图13.11　新疆和田县阿克斯皮力古城遗址采集的嵌绿白双色蜻蜓眼玻璃珠和五色镶嵌玻璃珠（a、b）

不言而喻，仅上述列举的新疆出土的玻璃资料，已对史籍文献以及前人研究成果起到了很大的补充作用。从目前考古资料的分区和分期以及器形、纹饰等工艺比较来看，这批玻璃基本上可归纳为新疆本地产品、黄河和长江中下游地区产品和外来产品三大类。这种体系的划分，同目前已知的新疆考古发现及初步的研究成果，以及先秦至两汉以来的史料所载的有关玻璃生产和输入的情况基本相符。以上认识还有待新的考古资料的相互印证。

13.1.2 克孜尔玻璃珠的初次检测

20世纪80年代始，对新疆古代遗址中所采集到的一些玻璃残片曾做过化学成分的测试。但是这些玻璃残片皆为采集品，时代及来源都不十分确切[16]。20世纪90年代，克孜尔墓地出土了一批新疆青铜-早期铁器时代的玻璃珠之后，我们曾选择了少量残破标本请北京科技大学冶金与材料史研究所和资源工程学院进行了初步检测[17]。2005年，新疆文物考古研究所又同中国科学院上海光学精密机械研究所建立了合作，开展了新疆出土玻璃的研究项目。

新疆克孜尔遗址是一处位于西部天山南麓的重要的青铜-早期铁器时代大遗址。这处遗址主要包括大面积的居住遗址、冶炼金属（铜）遗址和公共墓地等。1990—1992年共发掘墓葬160余座，出土了彩陶、石器、骨器、铜器、一件残铁器和琉璃珠饰等文化遗物。这批玻璃珠同石珠、骨珠和玛瑙珠串在一起作为项链而出土于墓主人的颈部。玛瑙珠呈算盘珠或圆鼓形，直径0.8~1.6 cm、高0.5~1.4 cm、孔径0.3~0.4 cm。出土时表面附着一层$CaCO_3$的白色或呈黄白色的粉状沉积物。观察破碎的珠的新鲜断面，显浅蓝色、蓝色、浅绿色、绿色，呈玻璃态，表面和内部均分布大小不一的气泡，透明度很低，光泽也较差。请北京科技大学冶金与材料史研究所等单位对所取三座墓葬的五件标本——玻璃珠进行了检验和分析，见表13.1。

表13.1 克孜尔吐尔墓出土早期玻璃珠的平均化学成分和微区化学成分

样品	检测项目	元素含量(%)											
		Si	Ca	K	Na	Mg	Al	Pb	Ba	Zr	Fe	Cu	Sb
1	平均成分1	64.9	10.1	8.13	6.03	7.81	0.39		0.57		1.62	0.16	0.30
	平均成分2	65.6	9.44	7.27	5.90	8.89				0.01	2.29	0.37	
	长形晶体	19.1	0.18					1.45		79.0			0.26
	晶体芯部	53.0	4.52	0.47		38.1	1.16	0.12	0.24		1.91	0.42	
	石英晶体	96.0	0.76	0.60		0.80			0.04	1.58	0.25		
	边缘平均	87.6	2.04	1.64	0.52	2.00	0.70		1.36	1.41	2.62	0.12	
2	平均成分1	62.7	10.6	4.68	8.07	6.35	0.46	0.40	0.81	0.01	1.54	3.14	1.20
	平均成分2	66.0	10.4	3.62	5.99	7.03			0.21		1.33	3.45	2.00
	长形晶体	18.5	0.71	0.26	0.30	0.11		1.26	0.01	78.4	0.44		
	夹杂颗粒1	68.6	10.1	3.38	1.51	7.57	0.36	0.54	0.98		1.55	3.50	1.76
	夹杂颗粒2	70.6	10.9	3.49	0.54	5.29			0.84	0.50	1.55	3.98	2.28
	富铜颗粒	3.15	0.30	0.28		2.35	0.82		0.15	0.18	0.41	92.4	
3	平均成分1	58.2	10.2	4.91	5.00	7.10	0.06	10.6	0.02	0.02	0.92	0.37	2.56
	平均成分2	54.9	11.3	4.83	6.15	6.63	0.10	11.4	0.22	0.64	0.97		2.72
	富铅锑相	9.35	3.86	0.53	2.30	1.64		43.9			0.45		38.0
	晶体芯部	44.9	14.4	0.71		33.0	1.31		0.83	0.37	1.52	0.13	2.84

（续表）

样品	检测项目	元素含量(%)											
		Si	Ca	K	Na	Mg	Al	Pb	Ba	Zr	Fe	Cu	Sb
3	夹杂颗粒	53.4	14.8	1.66	1.33	7.01		9.04	0.60		0.97	0.26	10.9
	玻璃相	51.4	12.6	5.23	3.50	3.56		6.34	1.59		1.52		14.2
4	平均成分1	60.1	10.1	4.87	5.54	7.70			0.49		1.84	2.05	7.31
	平均成分2	59.2	11.0	4.84	5.60	6.50			0.75	0.97	1.34	2.46	7.28
	富铜相	2.11	0.36	0.21		1.33					1.22	93.0	
	富铜铁相	11.3	1.68	1.03		3.08			0.31	0.33	16.9	65.0	0.41
	玻璃相	60.5	10.9	6.37	5.15	5.91			0.07	0.07	0.78	1.19	9.08
5	平均成分1	75.2	7.01	0.58		7.02		1.58	0.71	1.61	1.56	3.50	0.91
	平均成分2	75.6	6.79	0.80		6.90		0.33	1.18	1.04	1.51	4.05	0.84
	长形晶体	19.1	1.12					0.34	2.11	76.2			0.33
	富锑相	39.1	4.25			2.18		0.06		0.06	1.08	1.92	51.4

从表13.1可知，标本1为高镁高钾的钠钙玻璃，铁元素是主要着色剂；标本2是高镁高钾的钠钙玻璃，铜元素为主要着色剂；标本3是高镁的铅玻璃，锑元素是主要着色剂；标本4是高锑高镁的钠钙玻璃，铜元素是主要着色剂；标本5是高镁的钙玻璃，铜和铁元素是着色剂。值得注意的是，所有标本检验都发现铝含量低而镁含量较高。其次，根据微区成分分析，可知标本1、2、5出现的长形晶体的成分接近，应该为同一种锆石类矿物；标本1、3的晶体芯部微区分析结果显示为同一种稳定的硅酸镁类；标本2、4都有富铜相的存在，是氧化铜的未熔物；标本3发现富铅锑相，应是黄色玻璃主要的着色粒子；标本4发现富铜铁相，与铜矿的冶炼有某种联系；标本5发现富锑相的存在，可能与使用原料有关。从五件标本其他元素成分分析结果，可得出以下结论：① 所测标本的硅镁含量比较固定，内部未熔化晶体的核心经检测硅、镁比例也几乎不变，因此这些玻璃很可能是使用了同一种硅酸镁盐类（如滑石、顽火辉石和蛇纹石）的矿物原料来进行熔制。② M21和M37的三件玻璃珠内部都发现有锆石，形态和成分十分接近，应该是使用原料接近的有力证据。③ 所测五件标本中基本上不含铝元素，几乎可以断定这批玻璃珠是在同一地点生产。

综上所述，根据克孜尔墓地考古发掘所揭示的文化内涵，通过实验室对出土玻璃珠的观察和化学组成检测，以及发现的有些标本所含的富铜铁相是与铜矿的冶炼有着某种联系的事实，认为这批玻璃珠制品即为新疆本土的产品。克孜尔墓地出土的青铜–早期铁器时代的玻璃珠，为我们进一步研究中国古代玻璃，提供了新的考古例证。

13.1.3 克孜尔出土玻璃技术的初步认识

新疆约占中国国土面积1/6，有着悠久的历史文化和丰富的自然资源。考古发现证明，商周时期新疆各族就与中原各地有着密切的经济、文化的往来和交流。尤其是新疆大地广

泛分布的青铜–早期铁器时代的考古文化，已揭示出新疆的铜、铁等金属冶铸技术具有自身的地域特点[18-19]。金属冶炼技术对当时玻璃制造技术的产生显然存在着一定的推动作用。中国黄河和长江中下游地区能出土东周和春秋战国的玻璃，新疆地区也发现了，这都属科技发展的正常现象。这些问题均需进一步作个案的比较研究。长期以来，国内外学术界对新疆出土的古代玻璃的认识有许多分歧，如新疆地产玻璃的有无、新疆土生土长的玻璃成分是否也是中国古代玻璃谱系中的组成部分、新疆古代玻璃技术在东西文化交流中的作用大小等。简言之，即对新疆古代玻璃技术的认可及定位问题。

对于中国玻璃的起源问题，已有学者认为同中国商周时代发达的冶铜技术分不开的，很可能是冶炼精铜排渣过程中偶然产生的[20]。最近有人对河南登封阳城铸铁遗址出土的熔炉残留下来的琉璃层进行了分析，证实冶铁业促进了中国玻璃技术的发展[21]。从克孜尔出土的玻璃珠中也似乎可以找到一些玻璃起源于冶金的新线索。显微分析表明，已测定的五件标本中或多或少地存在着一些富铜、铁、锑相，这些现象表明可能与铜的冶炼有关。我们知道，作为铜冶炼原料的硫化铜常常伴生有硫化铁和硫化锑成分，前者的伴生矿称作黄铜矿，后者的伴生矿称作黝铜矿，它们都是自然界中常见的铜伴生矿。铜冶炼渣中最常见的元素是铁元素。此外，锑元素和铜元素也有少量进入渣中。一般炼铜渣中含量较高的氧化铁相，很容易与二氧化硅形成低熔点的晶态铁橄榄石，而玻璃相中主要成分是钙和镁等的氧化物。前面已分析的五件标本材料中高的钙含量也说明，这很可能是炼铜渣急剧冷却下来形成的玻璃相。

检验的玻璃珠标本样品3是一件含锑的铅玻璃，铅元素高达10%以上，显然不是由于熔制玻璃原料无意混有少量铅元素的原因，这应当同金属合金化类似，为有意加入某种矿物来改变材料的性能以达到某些使用价值的结果。已有学者认为中国古代传统的铅玻璃就是冶炼铅矿的过程中发展起来的，我们认为这一推断有着一定的道理[22]。新疆考古发现表明，铅矿的开发和利用在古代的新疆历史中已十分悠久。如克孜尔墓葬和天山北麓的尼勒克努拉赛古铜矿遗址，曾发现的铜锭中含有铅的颗粒[23]，时代和地缘邻近的察吾乎沟四号墓地就出土铅青铜的铜扣，而克孜尔墓地自身也出土含铅10%以上的铅的青铜勺等。克孜尔是龟兹史前期一处重要的青铜—早期铁器时代的文化遗存，《汉书・西域传》也曾明确记载："龟兹国能冶铸，有铅"。而其他诸国则罕有记载铅的使用。魏晋南北朝时期，龟兹已成为西域冶铸产品的中心，其铁器制品"恒充两域三十六国之用"。尤其值得注意的是，作为龟兹国的地方铸钱中已是含铅的铜钱[24]，都能印证古代龟兹国是西域冶炼金属及利用铅矿资源的中心的地位。近年中国对新疆及其周边地区矿产资源的调查表明，西部天山实际上是世界上非常著名的一处铅锌矿成矿带，这条矿带覆盖着新疆西部、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和乌兹别克斯坦的广袤地区[25]。中国新疆的西部，则正是古代龟兹国的疆域范围所在。以上所列举的材料都足以说明龟兹国的史前阶段乃至汉唐时期，有着先决条件能较早地认识到铅矿的作用并加以冶炼，在这里首先使用铅矿熔入玻璃当中应当不是太难理解的事情。克孜尔墓地出土有含锑的铅玻璃制品当属正常情况。当然，也不排除来自中原地区青铜器制作方法中使用铅原料的工艺影响。

克孜尔玻璃珠中的锑元素在中原地区商周时期的青铜器中很少见到，在克孜尔出土铜

器的19件铜器样品检验中也没有发现，但在新疆其他地区出土的早期铜器中，是较为常见的元素。这批玻璃样品中含有较多的锑元素成分，从另一个侧面进一步证实了克孜尔出土的玻璃珠是新疆本地生产的可能性。

13.1.4 中国古代玻璃谱系的补充

中国古代玻璃的起源问题一直受到学术界的广泛关注。迄今为止，中国考古发现的早期玻璃主要有河南固始侯古堆墓葬出土的钠钙硅酸盐玻璃珠、河南辉县出土的吴王夫差剑剑格上嵌的钙硅酸盐玻璃、湖北江陵望山一号墓出土的越王勾践剑剑格上嵌的蓝色钾钙硅酸盐玻璃等[26]。它们都是早期含钠、钙、钾的硅酸盐玻璃，而铅钡系的玻璃则到战国时期才真正开始在黄河和长江中下游地区广泛出现。有学者在化学分析研究的基础上，认为中国古代玻璃主要是铅钡系玻璃，不同于西方钠钙系的玻璃，因此主张中国玻璃是独立起源的[27]。曾经有人提出，将宝鸡、沣西、洛阳等地出土的西周早期琉璃当作中国早期玻璃起源的雏形[28]；但经过科学检验分析认为，陕西宝鸡強国墓地出土的琉璃管珠是含有少量玻璃相的多晶石英制品，不是中国的早期玻璃[29]。

上述基本观点对于中国玻璃起源各执一词，新疆克孜尔墓地出土玻璃的发现和初步检验分析可能有助于重新审视上述考古材料，或许能提供一些新的补充作用。

克孜尔墓地的朽木作为标本，共有9组碳-14年代测定的数据，经树轮校正，绝对年代均在公元前1110年至公元前600年。结合墓地出土的陶器、铜器等资料认为，克孜尔墓地与和静县察吾乎沟墓地（前990—前625）、轮台县群巴克墓地（前950—前620）有着密切的联系，从考古学上来断代，其相对时代约为西周至春秋早期。如是，克孜尔出土玻璃珠应该是目前中国出土并经过科学鉴定年代最早的一批玻璃。

克孜尔玻璃标本初步检验的化学成分，同时出现了高镁高钾的钠钙玻璃、高锑高镁的钠钙玻璃、高镁的钙玻璃和高镁的铅玻璃。尤其是高钾和高镁的钠钙玻璃，这在世界古代玻璃谱系中也是比较少见的，与周边地区的古代玻璃化学成分有着较大的差异，更证明了利用本地矿产原料加工制造玻璃的地方性。

从出土陶器所作的电子探针元素定量分析的结果，也提供了一些补充的信息资料。为了进一步了解墓地与周边墓地文化间的关系，曾对乌苏县（今乌苏市，下同）安集海墓地[30]、和静县察吾乎沟墓地和拜城县克孜尔墓地出土的陶器做了电子探针定量分析，分析结果见表13.2。

表13.2 克孜尔墓地等陶器的电子探针分析结果

检测项目 出土地点	元素含量（%）								
	Si	Ca	K	Na	Mg	Al	Fe	P	Ti
安集海M1	65.09	1.54	2.23	3.61	3.04	18.60	3.23	2.33	0.26
安集海M1	59.07	6.07	2.53	1.80	3.43	18.45	5.77	2.55	0.33
安集海M2	51.05	10.54	2.17	1.35	0.60	17.40	5.70	7.87	3.32
察吾乎沟	60.35	2.63	4.08	2.25	3.17	18.64	7.52	0.44	0.91
克孜尔	56.44	6.44	4.12	3.07	4.34	17.53	7.34	0	

从表13.2可知,克孜尔墓地陶器的钾、镁、钠、钙元素含量要高于安集海墓地和察吾乎沟墓地陶器,这应同当地的陶土资源是相联系的。因此,克孜尔玻璃珠检验成分为高钾高镁的钠钙玻璃亦是自然的现象。事实上,作为新疆早期生产出“钠–钙–钾”系玻璃的原料是普遍存在的。克孜尔正处于矿产蕴藏丰富的地段,有着丰富多样的黑色金属和有色金属,以及煤和石油等资源。其中铜矿、铁矿的开采和冶炼的历史悠久。作为制造玻璃主要原料的石英砂,仅克孜尔附近阿艾一带的侏罗系地层中,厚约100多米。附近的盐矿、石灰石、石膏、黏土、明矾等非金属矿藏资源亦十分丰富[31]。作为玻璃助熔剂的碱(Na_2CO_3)和草木灰(K_2CO_3)以及土硝,均是新疆普遍存在、极易获取的自然资源。

目前从世界玻璃史来看,一般认为最早的玻璃珠是产生于美索不达米亚和古埃及。美索不达米亚,即底格里斯河和幼发拉底河流域,是最早的世界文明中心之一。如伊拉克曾出土一批公元前1700年至公元前1400年的属于美索不达米亚文明早期的玻璃链珠。印度文明中的玻璃制品历史也相当悠久。了解上述地区的考古发现,有助于我们对世界范围内玻璃的起源与发展的认识,也有助于在比较的基础上更深刻地研究新疆古代玻璃。目前,中国中原以及周边中亚其他诸国的考古发现表明,早在公元前1000年左右,东、西方文明就已发生着多种联系,作为一种商贸品的玻璃及其制造技术,经过新疆而传入黄河和长江中下游地区,并不是什么难以理解的事。在进行商品贸易的同时,还可能有一批工匠利用新疆当地的矿料资源熔制出玻璃。克孜尔玻璃即属于这类工艺不成熟的早期玻璃。

克孜尔出土玻璃珠的化学成分显示,其中主要有钠钙玻璃。克孜尔出土的玻璃都是利用新疆当地原料,采用不同着色技术熔制出来的,并与铜的冶炼生产有着一定的联系。新疆克孜尔玻璃应是中国古代玻璃谱系中的一个组成部分。

13.2 甘肃的古代玻璃

甘肃是中国考古关注的地方之一,迄今为止的重大考古发现都产生了很大的反响。据汉文史籍所载,公元前280年秦昭王在甘肃东部建置了陇西和北地两郡。公元前121年,汉武帝设置河西四郡而开通西域交通后,“丝绸之路”贯穿甘肃省境,成为东西方政治、经济和文化交流的要隘。因此,甘肃出土的早期玻璃也为研究古代玻璃制造,以及玻璃技术输入的道路提供了实物的例证。

13.2.1 出土玻璃及有关问题

1)重要的考古发现

近50多年来,甘肃的文物考古工作者在兰州、天水、武威、张掖、酒泉、敦煌等地区发掘了大量的古代墓葬和遗址。其中仅仅是汉代的墓葬已达500余座,曾出土过一定数量的玻璃制品。主要发现如敦煌的南湖三号桥汉墓、五圣宫遗址、寿昌城遗址、祁家湾墓地[32]、佛爷庙墓地等[33],酒泉的城北汉墓,武威的雷台汉墓[34]、磨嘴子汉墓[35],静宁县汉墓[36],以及玉门、嘉峪关、酒泉丁家闸等魏晋十六国时期的墓葬,都出土过各种玻璃制品。图13.12为甘肃

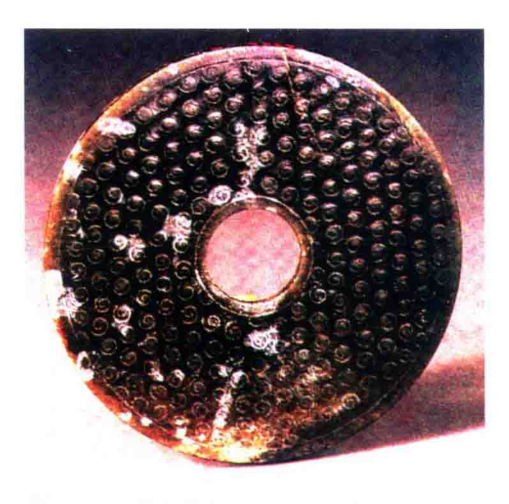


图13.12 甘肃静宁县西汉墓葬出土的玻璃璧（甘肃省博物馆藏）

静宁县西汉墓葬出土的谷纹玻璃璧。

唐宋时期的遗址和墓葬，如敦煌的沙州城和寿昌城、安西的瓜州城、泾川的长务城，以及泾川水泉寺[37]、灵台寺舍利塔[38]、漳县汪世显墓[39]等，均出土了一批玻璃容器。

2）甘肃玻璃种类及相关问题

张平对所能接触到的出土玻璃均做了实物考察。其品种和外观特征主要表现在，战国至汉晋的玻璃制品以玻璃珠、玻璃耳珰数量居多，其次有少量的玻璃璧，未见到有日用的玻璃器皿。玻璃制品的成型方法以模压、铸造为主，没有见到吹制的玻璃。值得注意的是，所见的敦煌博物馆玻璃藏品中，有一定数量的玻璃珠同新疆汉晋时期的洛浦的山普拉、民丰的尼雅、尉犁县的营盘，以及若羌县的楼兰遗址所出土的玻璃珠的风格相似，换言之，敦煌出土有来自新疆的玻璃珠是不令人感到奇怪的，它进一步印证了玻璃产品的输入和流通也是丝绸之路贸易中的一个组成部分。静宁县两汉墓葬出土的玻璃璧，米黄色，直径约13.8 cm。这类代表中国古代玉器上所特有的纹饰风格的玻璃制品，据已知发现与研究，主要出自战国时期湖南境内的楚墓中[26]。如是，则楚文化的玻璃产品跨长江、过黄河交流到西部地区的陕西省和甘肃省，又印证了这种文化交流是否进入一个新的时代？

甘肃唐宋时期的玻璃，颜色以含有铜、铁离子的绿色玻璃珠、玻璃器皿为多，也见有乳白色、蓝紫色、黄色的玻璃。尤其是普遍出土有吹制玻璃瓶，如泾川出土的乳白色玻璃瓶，灵台出土的无色透明、稍泛绿色和淡黄色透明的葫芦瓶等。安家瑶在《中国的早期玻璃器皿》[40]一文中将其定为国产玻璃器皿，其工艺多采用无模自由吹制，口沿的修整多采用火烧成圆唇等，进一步表明唐宋时期中国玻璃技术的掌握已达到较高的水平。

13.2.2 甘肃玻璃的检验和分析

甘肃出土有自战国秦汉以来历代的玻璃制品。利用考古发现的玻璃材料，进行科学实验分析和测定工作以往做得比较少，这是造成中国古代玻璃起源及相关问题研究进展缓慢的制约因素之一。迄今只有中国建筑材料科学研究总院、清华大学和中国社会科学院考古研究所合作，曾对甘肃酒泉汉墓出土的一件玻璃耳珰及甘肃灵台舍利塔出土的玻璃容器等，进行了化学成分的检验[16]。分析结果见表13.3。

表13.3 甘肃出土的古代玻璃制品的化学成分 （%）

样品名称	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	Fe_2O_3	MnO_2	CuO	PbO	其他
酒泉汉耳珰	49.33	2.10	3.16	9.30	0.51	1.40	0.48	0.33	0.09	21.62	BaO：8.83 CoO：0.04

（续表）

样品名称	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	Fe_2O_3	MnO_2	CuO	PbO	其他
灵台宋葫芦瓶	36.32	2.75	0.13	0.29	10.09	0.10	0.16	0.02	0.13	50.31	
灵台北宋葫芦瓶	36.32	2.75	0.18	0.11	13.94	0.04	0.29	0.01		53.40	

从表13.3可知，玻璃制品西汉时为铅钡硅酸盐玻璃，而至宋代，已为钾钙硅酸盐玻璃，其变化情况与黄河和长江中下游地区相同。

13.3 青海的古代玻璃

青海邻近西藏、新疆和甘肃，有着悠久的青铜文化的历史。汉武帝开辟青海的湟中之后，因地处"丝绸之路"新疆地段的南道特殊位置，促使青海进入了文明时代。至今分布于青海湖北岸的尕海、向阳北的两处汉代城址，以及青海湖南岸的支东拉加汉代古城和汉临羌城等，即是汉代开辟青海及设置西海郡的历史物证。迄今已知青海出土的玻璃资料主要见于大通县的上孙家寨墓地及民和县的东垣村东汉墓两处。

13.3.1 发现的玻璃及其品种

1）上孙家寨汉晋墓地出土的玻璃制品

上孙家寨汉晋墓地位于西宁市大通县后子河乡上孙家寨村北。1973—1981年，青海省文物考古工作者发掘汉晋墓葬182座。其中西汉晚期至东汉晚期的土圹墓、木椁墓和砖室墓中，出土汉代玻璃制品共84件，料珠（釉砂）共138件[41]。

玻璃耳珰有34件，光泽明亮，透明度强，分浅绿色、深绿色、浅蓝色和深蓝色。玻璃耳珰又可分为三种形式：第一种呈"T形"，共9件，深绿或浅绿色，中有穿孔；通长1.4~1.8 cm，粗端径1.05~1.7 cm，细端径0.45~0.55 cm。第二种略呈"喇叭形"，共6件，有浅绿色和深蓝色，中有穿孔；长1.4~2 cm，粗端径1.1~1.6 cm，细端径0.6~0.9 cm。第三种呈"束腰柱形"，共19件；浅蓝色或深蓝色，腰段增粗，细端径增长，中有穿孔；长1.8~2 cm，粗端径0.8~1.5 cm，细端径0.6~1.2 cm。

玻璃鼻塞1件，蓝色，无穿孔。略呈"蘑菇形"，长1.9 cm。

玻璃珠共49颗，透明或不透明，浅绿、深绿、浅蓝、蓝、深蓝、黄、红、白各色。呈"算珠状"或"圆鼓形"。尚有少量为两层玻璃间夹有金箔和表面涂有金箔的珠子，一般珠径有0.3~0.5 cm或0.5~0.8 cm。

2）东垣村东汉墓地出土的玻璃制品

东垣村东汉墓地位于民和县川口镇东垣村南，发掘的一座东汉中期双室砖墓出土一件玻璃饰件[42]。饰件呈方形，铸制，中心稍凸起，两侧边均有凹口，凹口中心对穿一孔，边长1.7 cm。

13.3.2 玻璃制品的化学分析

青海省文物考古研究所请中国建筑材料科学研究总院对上孙家寨墓地出土的部分玻璃耳珰和玻璃珠进行了化学组成、X射线衍射、显微镜观察和密度测定的综合分析[43]。为了便于进一步讨论青海出土的汉代玻璃，将分析结果列于表13.4中。

表13.4 青海上孙家寨墓地出土的古代玻璃的化学成分 （%）

名称	时代	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	PbO	BaO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Cl	其他
AⅠ式耳珰	西汉晚期	35.06	1.09	0.30	42.28	11.71	2.38	1.79		5.29		CuO：0.53
M130珠	西汉晚期	77.78	3.98	1.97	—	—	0.55	0.29	14.16	0.34	1.54	MnO：0.25 CoO：0.12
AⅡ式耳珰	东汉晚期	39.18	0.38	0.22	37.26	15.79	0.45	0.12		4.62	1.25	CuO：0.13
AⅢ式耳珰	东汉早中期	54.32	0.85	0.63	17.12	11.13	3.65	0.95	1.69	6.27	1.85	CoO：0.04
AⅢ式耳珰	东汉晚期	45.85	1.66	0.14	27.25	12.93	0.77	2.16	0.34	9.31	1.28	
M37珠	东汉晚期	68.11	2.11	1.04			4.71	0.54	0.11	18.23	0.83	MnO：1.30
M23珠	东汉	64.49	7.28	0.93			5.90	2.24	0.70	17.6	1.19	
M5珠	东汉晚期	65.44	4.02	0.87			8.16	2.26	0.59	17.35	1.05	
M5珠	东汉晚期	57.38	8.59	0.19			2.62	5.28	0.84	23.48		
齿形料珠*	东汉	89.11	4.81	1.67				0.68	1.15	2.07		

*注：经X射线衍射分析，证明齿形料珠应属于釉砂一类物质。列入此表仅供比较。

通过表13.4所列举的部分玻璃化学成分分析结果，其成分可归纳为三种不同的玻璃系统。

1）铅钡玻璃

即表13.4中列举的AⅠ式、AⅡ式和AⅢ式的玻璃耳珰，均属于SiO_2含量低、PbO和BaO含量高的Na_2O-PbO-BaO-SiO_2系统玻璃。玻璃史研究认为，在世界古代玻璃化学组成中同时兼含大量PbO和BaO的玻璃只有中国玻璃。玻璃耳珰（瑱）在中国许多省区的汉墓中广泛出土，其形制又是具有中国特色的制品，因此这种玻璃耳珰当属国产品中的一个类型。

2）钠钙玻璃

即表13.4中列举的M37、M23、M5玻璃珠。迄今在中国出土的古代玻璃中，2世纪以前的钠钙玻璃出土数量比较少，通过对上孙家寨出土的部分玻璃珠成分与西方国家古代钠钙玻璃成分相类似的特点分析，推断其来源可能是外国输入的。

3）钾硅玻璃

本文仅分析了M130出土的西汉晚期玻璃珠成分，是否仍有K_2O-SiO_2系统玻璃，需要对所有出土玻璃珠尽可能地进行测试。这种蓝色玻璃在中国广西、广东汉墓曾有广泛出土，在青海邻近的甘肃亦有发现。在中国出土的K_2O含量较高的玻璃中，不论K_2O-SiO_2玻璃或$K_2O-CaO-SiO_2$玻璃，或10世纪的$K_2O-PbO-SiO_2$玻璃等，都具有MgO含量低的特点。这可能意味着中国汉墓出土的钾玻璃采用了与西方不同的原料[45]。

13.4 宁夏的古代玻璃

宁夏是中国北方游牧文化与中原农耕文化的交流和融汇之地，是丝绸之路东段北道必经的辖区之一，地域与历史文化很有特点。宁夏出土的汉唐时期的玻璃曾引起学术界的关注。这批玻璃材料均为出土品，年代确切，为研究中国玻璃即玻璃商品和科技输入的道路提供了重要例证。

13.4.1 玻璃的重要遗址

1）两汉时期

迄今已知出土汉代玻璃的墓葬主要有宁夏盐池县的张家场墓地[46]、吴忠县（今吴忠市，下同）的关马湖墓地[47]、同心县的倒墩子匈奴墓地[48]、固原县的北原东汉墓地和鸦儿沟汉墓地等[49-50]。这批两汉墓葬均出土过一定数量的玻璃珠、管项饰，以及玻璃耳珰和玻璃瑱等。其中玻璃瑱或耳珰的造型均相同，蓝色或淡蓝色，透明或不透明，呈“束腰柱形”，中有穿孔，长1.2~1.5 cm，孔径0.2 cm。

2）南北朝时期

南北朝时期的玻璃制品主要见于固原的墓葬，其中有李贤墓[51]和田弘墓[52]等。两座大墓均出土了一批色泽丰富的玻璃珠、蜻蜓眼玻璃珠、玻璃花残片，以及引人注目的萨珊玻璃珍品。李贤墓出土的萨珊玻璃碗，淡黄绿色，内含小气泡，透明度好，平沿、直口，腹外周饰两圈凸起的圆形圈纹。口径9.5 cm，高8 cm，腹深6.8 cm，下腹部最大直径9.8 cm。此件玻璃器皿已有学者做过个案研究[53]。而田弘墓出土的鎏金玻璃珠、蜻蜓眼玻璃珠及玻璃花瓣残片，是值得注意的一批玻璃品。

3）隋唐时期

隋唐时期的玻璃出土物主要见于固原南郊隋唐墓葬。主要有隋正议大夫史射勿墓[54]、唐史诃耽墓[55]，以及盐池县唐墓[56]等。其中唐史诃耽墓出土的六曲瓣状玻璃碗（图13.13）和玻璃花残件，其玻璃工艺甚佳。尤其是盐池县唐墓出土的两件墨绿色、有小气泡、呈球状腹的小玻璃瓶，其形制、工艺都与甘肃泾川县、灵台出土的唐代短颈、球腹的小玻璃瓶和



图13.13　宁夏固原县唐史诃耽墓出土的唐代玻璃碗(宁夏回族自治区固原博物馆藏)

葫芦瓶相近，当属中国本土所生产的小玻璃器皿。这种判断，尚待科学的实验与分析，以作判定及比较研究。

13.4.2　田弘墓出土玻璃珠的测试检验

北周田弘墓的发掘，为1996年中日合作发掘项目[57]。日本学者从900颗玻璃串珠中选出8颗做了铅同位素比值与化学成分测定，玻璃珠的化学成分及玻璃珠概况见表13.5。

表13.5　北周田弘墓出土玻璃珠的化学成分及玻璃珠概况

序号	元素含量(%)									玻璃形态　色调	
	Al	Si	K	Ca	Fe	Cu	As	Pb	Sn		
1	1.5	8.7	1.3	3.8	3.9	1.1	<0.1	57	5.4	玻璃小珠	黄色
2	1.1	1.4	1.5	4.3	6.1	1.6	<0.1	11	<0.1	玻璃小珠	黑~青色，与3类似
3	1.4	9.5	1.6	4.6	5.6	1.9	5.6	7	<0.1	玻璃小珠	黑~青色，与2类似
4	1.8	13	<0.1	2.9	10	2.2	12	13	<0.1	玻璃小珠	黄褐色，与5类似
5	1.0	11	<0.1	1.9	9.5	2.0	11	13	<0.1	玻璃小珠	黄褐色，与4类似
6	0.9	11	1.7	4.0	5.4	4.4	<0.1	15	<0.1	玻璃小珠	黑~青色，与2、3类似
7	1.3	7.9	2.4	3.1	2.6	<0.1	<0.1	18	16	玻璃大珠	白色部分，与8同一样品
8	1.1	8.9	2.8	3.0	3.9	1.4	<0.1	7	<0.1	玻璃大珠	黑~褐色部分，与7同一样品

从表13.5的分析结果可知，玻璃中皆含有铅。换言之，这批串珠大体均属铅玻璃。

13.5　内蒙古的古代玻璃

内蒙古曾是古代草原游牧民族与农业民族杂居，牧业文化和农业文化交错分布地带。尤其是先秦时期，活跃于中国北方的匈奴族和东胡族，在中国古代历史中占有重要地位。

13.5.1　匈奴墓出土的玻璃

匈奴墓出土玻璃制品的资料主要来自外贝加尔地区、蒙古，以及中国内蒙古自治区的考古发掘品。国外的考古发掘主要在诺颜乌拉山和达尔罕山的匈奴墓地，出土了一批玻璃珠饰的项链，以及“中国汉代祭祀用的玻璃圆盘”等[58-59]。60多年来，中国内蒙古自治区匈奴墓葬发掘出土的玻璃制品列举如下。

1）桃红巴拉匈奴墓地出土的玻璃制品

桃红巴拉匈奴墓地位于内蒙古伊克昭盟(今鄂尔多斯市，下同)杭锦旗东南45 km的桃

红巴拉村。1973年发掘7座墓葬，时代约为战国时期[60]。墓葬为长方形竖穴土坑墓，头向北，仰身直肢。随葬遗物以铜器为主，还有铁器、金器、骨器、陶器、石器和珠饰等。出土的349颗"石串珠"中，有天蓝色、呈圆柱形的玻璃管珠等制品（图13.14）。

2）西沟畔匈奴墓地出土的玻璃制品

西沟畔匈奴墓地位于内蒙古唯格尔旗布尔陶亥乡西沟畔村。1979年和1980年共发掘12座墓葬，时代约为西汉初期[61-62]。其中M4除出土金器、银器、铜器、玉器等贵重文物外，仅玻璃珠就出土155颗，按其用途可分为头饰、顶饰、项饰中的玻璃制品。玻璃珠呈扁椭圆形、圆形和柱状形，颜色有浅黄、浅蓝和深蓝色。

此外，毛庆沟、范家窑子、补洞沟、水间门沟等战国至汉代的一批墓葬也曾有玻璃制品的饰物出土[63]。

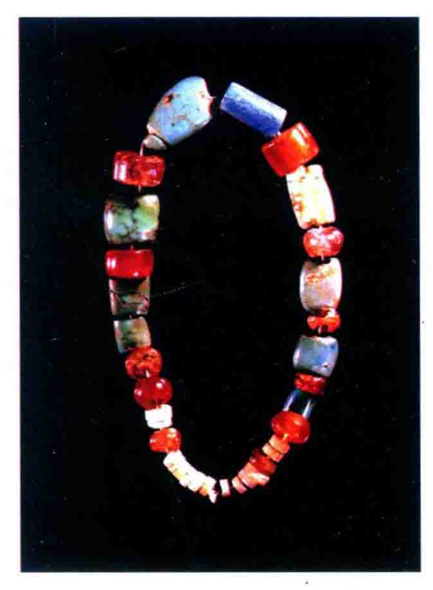


图13.14　内蒙古桃红巴拉匈奴墓地出土的约战国时期玻璃、玛瑙、绿松石等串饰

13.5.2　鲜卑墓出土的玻璃

鲜卑是中国古代北方地区东胡系的狩猎、游牧民族，亦是中国第一个进入中原建立北魏王朝的重要民族。新中国成立以来，先后在内蒙古和辽宁等地发现的若干批鲜卑族文物中就有大量的玻璃制品，主要发现如下。

1）扎赉诺尔鲜卑墓地出土的玻璃制品

扎赉诺尔鲜卑墓地位于内蒙古满洲里市扎赉诺尔火车站南约5 km。1959年发现以来，曾多次进行过发掘，时代约为汉代[64-65]；其中M5的珠饰中就含有呈算珠状的绿色玻璃珠。1986年扎赉诺尔墓地出土了大量玻璃珠。

2）完工索木鲜卑墓地出土的玻璃制品

完工索木鲜卑墓地位于内蒙古呼伦贝尔盟（今呼伦贝尔市）陈巴尔虎旗，1961—1963年发掘，时代约为汉代[66]。墓地曾出土一批管状、扁体橄榄形、扁球形、扁状多面棱柱形等各种玻璃珠饰。其中M2出土18颗玻璃珠中，16颗为绿色；2颗为包金箔的小玻璃珠，其工艺风格同新疆山普拉、尼雅墓地，青海上孙家寨墓地所出汉代玻璃珠相似。

3）伊敏河地区鲜卑墓地出土的玻璃制品

1979—1980年，呼盟文物工作站配合伊敏河地区铁路工程建设，发掘了伊敏车站和孟根楚鲁两处墓葬共11座，时代为西汉至东汉时期[67]。墓地出土一批石、琥珀、绿松石、玻璃珠饰；其中玻璃珠，绿色，呈圆鼓状，直径0.5 cm。类似的玻璃珠在巴林左旗南杨家营子[68]、察右后旗二兰虎沟[69]、额右旗拉布达林以及呼和浩特地区的鲜卑墓葬中都有出土。

4）辽宁北票县西官营子北燕冯素弗墓出土的玻璃制品

辽宁北票冯素弗墓（415年）出土了5件玻璃器[70]。有吹制的鸭形器皿和玻璃碗（图



图13.15 辽宁北票县冯素弗墓出土的玻璃碗（辽宁省博物馆藏）

13.15）、杯、钵及残器底。对这批玻璃器，曾有学者做过样品成分的检验和玻璃产地的考证，属钠钙系玻璃，可归入罗马进口的玻璃器皿[40]。

13.5.3 内蒙古汉墓出土的玻璃

本节所列举材料均出自魏坚编著的《内蒙古中南部汉代墓葬》一书[71]。内蒙古中南部曾是汉王朝抵御匈奴、屯垦戍边的特殊地理位置，所设置的朔方、五原、云中、西河、定襄、雁门等诸郡辖制之地，因大量的移民垦殖活动，留下了诸多古城、古墓等汉文化遗存。其中汉代玻璃就是这一历史文化遗存中的一个组成部分。

1）磴口县汉墓出土的玻璃制品

内蒙古文物考古工作者主要发掘了纳林套海汉墓群和沙金套海汉墓群两处西汉晚期至东汉初期的大型墓地。纳林套海45座汉墓中，出土了一批单色玻璃珠、蜻蜓眼玻璃珠和玻璃耳瑱。如M39：18，蓝色玻璃珠，呈扁圆形，中穿孔，直径0.5 cm；M39：9，蜻蜓眼玻璃珠，圆形，蓝色，珠上嵌多个白色泛黄的椭圆形料，椭圆形料中有暗红色，暗红色料中又嵌白色料。中穿孔，孔两端磨平，直径1 cm。玻璃耳瑱，蓝色，呈钉状，中穿孔。M3：24，长1.5 cm；M30：6，长1.55 cm。沙金套海39座汉墓中出土的玻璃耳瑱形制有别，如M15：9，碧蓝色，束腰细柄，尾端平齐，顶端作蘑菇状，尾至顶端有细孔，长1.5 cm；M25：12，黄绿色，半透明，束腰细柄，尾端稍尖，顶端作圆形帽状，有凸沿，长22 cm。

2）鄂尔多斯汉墓出土的玻璃制品

鄂尔多斯高原地处黄河大回折之内，西南与宁夏，南与陕西，东与内蒙古的包头、呼和浩特和山西为邻，汉代墓葬广泛分布。1988—1992年发掘了一处汉墓群，这处西汉中晚期至东汉初期的28座汉墓所出土的玻璃瑱的形制又是另一种类型。玻璃耳瑱，无色透明，器表布满黄色碱锈，整体略作长柄小顶的蘑菇状。M2：24，长3 cm；M2：26，长2 cm。

3）包头召湾汉墓出土的玻璃制品

包头召湾汉墓位于包头市南郊的召湾村北。1954—1993年共发掘了西汉中期至东汉晚期的汉墓84座。其中1992—1993年发掘汉墓中就出土一批玻璃耳瑱、玻璃鼻塞、耳坠等玻璃制品。其中耳瑱的器形同上述磴口汉墓和鄂尔多斯汉墓出土的耳瑱有很大差别。这一处墓地出土的耳瑱器形与青海、甘肃、宁夏汉墓所出相同。基本器形特点皆为喇叭口状，束腰，中穿孔，分深口或浅口两式。如M74：6和M74：7为一对，柱状，束腰，上下两端喇叭口呈深口状，长2 cm。M62：18和M62：19，上下两端的喇叭口呈小圆形口，较浅，平直。M62：18，长1.7 cm；M62：19，长1.1 cm。玻璃鼻塞出土亦是召湾汉墓的一个特点，呈圆锥形和圆柱形。M62：20，圆锥形，底一孔，至尖顶部分为两孔，长1 cm；M74：8，圆柱形，中穿孔，长5 cm；M74：9，圆柱形，中穿孔，长6 cm。

4）乌盖陶勒盖汉墓出土的玻璃制品

乌盖陶勒盖汉墓位于伊克昭盟杭锦旗锡尼镇东8 km，汉文史籍记载，杭锦旗曾为汉武

帝至王莽时期的西河郡辖地，墓地附近的哈劳柴登汉城即为故址。过去曾有百余汉墓因附近烧砖取土被破坏。1987年发掘了14座墓。其中M8墓主人右手臂下出土一件玻璃质的羊形挂件，蓝色玻璃，卧羊造型，羊角下弯，腹部横穿一孔，通高1.3 cm、宽1.4 cm。此外，乌兰察布盟（今内蒙古乌兰察布市，下同）的阴山以南地区、巴彦淖尔盟（今内蒙古巴彦淖尔市）、呼和浩特市等地汉墓也都出土过项链、耳饰等汉代玻璃制品。

13.5.4 辽代墓出土的玻璃

20多年来，内蒙古辽代墓葬、城址的考古发掘有了很大收获。辽代契丹人墓葬曾出土一些玻璃器皿。如1986年发掘的陈国公主与驸马的合葬墓出土的玻璃器皿[72]，其造型和工艺的特色，给人耳目一新的感觉。陈国公主墓的年代为辽开泰七年（1018年），出土了磨刻花盘口细颈瓶1件、磨雕四棱锥钉纹盘1件（图13.16）、高颈瓶2件、把杯4件（图13.17）等玻璃器皿。同时代的玻璃器皿曾在内蒙古赤峰市、辽宁朝阳姑营子、辽宁朝阳北塔等墓葬中均有所出土。学者研究认为，这是一批伊斯兰玻璃输入辽的物证[73]。



图13.16 内蒙古辽代陈国公主墓出土的玻璃盘（内蒙古自治区文物考古研究所藏）



图13.17 内蒙古辽代陈国公主墓出土的玻璃把杯（内蒙古自治区文物考古研究所藏）

致谢：自从承担了“中国北方和西北的古代玻璃技术”一章的编著，着手于汇集各省区古代玻璃的资料之后，就感受到其工作的难度。在西北和北方各省区出土玻璃的调研活动中，得到了中国科学院上海光学精密机械研究所，新疆和甘肃、青海、宁夏、内蒙古等省自治区的文物局、考古所、博物馆，以及敦煌研究院的领导和同志们的大力支持和帮助。承蒙青海省文物考古研究所的孙晓燕所长，宁夏回族自治区固原博物馆、宁夏博物馆的许成、卫忠、陈坤、李进增、钟侃增诸先生，以及内蒙古博物院副院长傅宁先生和历史部主任黄雪寅女士等的支持和协助，使本章作者张平能有幸看到发掘出土的古代玻璃实物。特此，一并表示由衷的感谢！

参 考 文 献

[1] 新疆文物考古研究所.新疆拜城县克孜尔吐尔墓地第一次发掘[J].考古,2002(6):14-28.
[2] 中国社会科学院考古研究所新疆工作队,新疆巴音郭楞蒙古自治州文管所.新疆轮台县群巴克墓地第一次发掘简报[J].考古,1987(11):987-996;1991(8):684-703.
[3] 刘学堂,托乎提.额敏河流域发掘早期游牧民族墓葬[N].中国文物报,2002-07-19(1).
[4] 新疆维吾尔自治区博物馆.新疆温宿县包孜东墓地发掘简报[J].新疆文物,1986(2):1-13.
[5] 新疆维吾尔自治区博物馆.洛浦县山普拉古墓发掘简报[J].新疆文物,1989(2):1-48.
[6] 新疆文物考古研究所.洛浦县山普拉Ⅱ号墓地发掘简报[J].新疆文物,2000(1/2):11-35.
[7] 新疆文物考古研究所.95尼雅遗址Ⅰ号墓地船棺木[J].新疆文物,1998(2):21-34;1999(1):25-47.
[8] 新疆维吾尔自治区博物馆.且末县扎滚鲁克Ⅱ号墓地[J].新疆文物,2002(1):1-21.
[9] 新疆文物考古研究所.新疆尉犁县因半古墓调查[J].文物,1994(10):19-31.
[10] 新疆楼兰考古队.楼兰古城址调查与试掘简报[J].文物,1988(7):1-22.
[11] 中国社会科学院考古研究所新疆工作队,新疆巴音郭楞蒙古自治州文管所.和静县察吾乎沟三号墓地发掘简报[J].考古,1990(10):882-889.
[12] 新疆文物考古研究所,和静县文化馆.新疆和静县察吾乎沟口三号墓地发掘简报[J].新疆文物,1990(1):1-19.
[13] 吐鲁番地区文管所.1986年吐鲁番阿斯塔那古墓群发掘简报[J].考古,1992(2):143-156.
[14] 新疆维吾尔自治区博物馆.吐鲁番阿斯塔那墓群第二次发掘简报[J].新疆文物,2001(3/4):13.
[15] 张平.若羌县巴什夏尔遗址出土的古代玻璃器皿[J].新疆社会科学,1986(3):87-92.
[16] 中国建筑材料科学研究总院,清华大学,中国社会科学院考古研究所.中国早期玻璃器检验报告[J].考古学报,1984(4):449-457.
[17] 潜伟,等.新疆克孜尔水库墓地出土玻璃珠的分析与研究[C]//方辅彬,巴莫尔.第五届中国少数民族科技史国际研讨会论文集.南宁:广西民族出版社,2002:138-145.
[18] 张平.从克孜尔遗址和墓葬看龟兹青铜时代的文化[J].新疆文物,1999(2):59-65.
[19] 伊弟利斯,阿不都热苏勒,张平,等.新疆拜城克孜尔水库墓地出土铜器的冶金学研究[J].新疆文物,2002(1):53-59.
[20] 杨伯达.关于我国古玻璃史研究的几个问题[J].文物,1979(5):76-78.
[21] 周双林,王军,李京华.河南东周阳城熔铁炉玻璃样分析研究[J].考古,1999(7):77-79.
[22] 赵匡华.试探中国传统玻璃的源流及炼丹术在其间的贡献[J].自然科学史研究,1991(2):145-156.
[23] 梅建军,李延祥.新疆奴拉赛古铜矿冶遗址冶炼技术初步研究[J].自然科学史研究,1998,17(3):289-295.
[24] 潜伟,等.新疆龟兹钱币的金属学初步研究[J].中国钱币,2003(1):21-24.
[25] 吴振寰.中国周边国家的地质和矿产[M].武汉:中国地质大学出版社,1993.
[26] 高至喜.论我国春秋战国的玻璃器及有关问题[J].文物,1985(12):54-65.
[27] 干福熹,黄振发,肖炳荣.我国古代玻璃的起源问题[J].硅酸盐学报,1978,6(1/2):99-104.
[28] 程朱海.试探我国古代玻璃的发展[J].硅酸盐学报,1981,9(1):96-104.
[29] 张福康,程朱海,张志刚.中国古琉璃的研究[J].硅酸盐学报,1983,11(1):70-71.
[30] 新疆文物考古研究所.1995年乌苏县巴音沟牧场安集海村古墓葬发掘报告[J].新疆考古发现与研究,1996一辑.
[31] 库车县志编委会.库车县志[M].乌鲁木齐:新疆大学出版社,1993.
[32] 甘肃省文物考古研究所.敦煌祁家湾-西晋十六国墓葬发掘报告[M].北京:文物出版社,1994.
[33] 甘肃省文物考古研究所.敦煌佛爷庙湾[M].北京:文物出版社,1998.

[34] 甘肃省博物馆.武威雷台汉墓[J].考古学报,1974(2):[页码不详].
[35] 甘肃省博物馆.甘肃武威磨嘴子汉墓发掘[J].考古,1960(9):15-28.
[36] 甘肃省博物馆.甘肃文物精华[M].兰州:甘肃人民出版社,1994.
[37] 甘肃省文物工作队.甘肃泾川县出土的唐代舍利石函[J].文物,1966(3):8-15.
[38] 秦明智,刘得祯.灵台舍利石棺[J].文物,1983(2):48-52.
[39] 甘肃省博物馆,漳县文化馆.甘肃漳县元代汪世显家族墓葬简报之一及之二[J].文物,1982(2):1-21.
[40] 安家瑶.中国的早期玻璃器皿[J].考古学报,1984(4):413-448.
[41] 青海省文物考古研究所.上孙家寨汉晋墓[M].北京:文物出版社,1993.
[42] 贾鸿键.青海民和县东垣村发现东汉墓葬[J].考古,1986(9):857-859.
[43] 史美光,周福征.青海大通县出土汉代玻璃的研究[C]//青海省文物考古研究所.上孙家寨汉晋墓.北京:文物出版社,1993:250-254.
[44] 黄启善.广西古代玻璃制品的发现及其研究[J].考古,1988(3):264-276.
[45] 史美光,何欧里,周福征.一批中国汉墓出土钾玻璃的研究[J].硅酸盐学报,1986,14(3):307-313.
[46] 宁夏文物考古研究所,宁夏盐池县文体科.宁夏盐池张家场汉墓[J].文物,1988(9):15-25.
[47] 宁夏博物馆.宁夏吴忠县关马湖汉墓[J].考古与文物,1984(3):28-35.
[48] 宁夏文物考古研究所.宁夏同心倒墩子匈奴墓地[J].考古学报,1988(3):79-102,123-134.
[49] 宁夏考古所固原工作站.宁夏固原北原东汉墓[J].考古,1994(4):334-337.
[50] 宁夏博物馆.宁夏固原县出土文物[J].文物,1978(12):86-90.
[51] 宁夏博物馆,宁夏回族自治区固原博物馆.宁夏固原北周李贤夫妇墓发掘简报[J].文物,1985(11):1-20.
[52] 原州联合考古队.北周田弘墓[M].东京:勉诚出版株式会社,2000.
[53] 安家瑶.北周李贤墓出土的玻璃碗:萨珊玻璃器的发现与研究[J].考古,1986(2):173-182.
[54] 宁夏回族自治区固原博物馆.原州古墓集成:固原南郊隋唐墓发掘简报[M].北京:文物出版社,1999.
[55] 宁夏回族自治区固原博物馆.宁夏固原唐史诃耽墓清理简报[J].文物,1985(11):21-30.
[56] 宁夏博物馆.宁夏盐池唐墓发掘简报[J].文物,1988(9):43-56.
[57] [佚名].原州联合考古队发掘调查报告2[M].东京:勉诚出版株式会社,2000.
[58] [佚名].蒙古考古论文集[M].陈弘法,译.莫斯科:苏联科学院,1962.
[59] 道尔吉苏荣.呼尼河畔诺颜乌拉山匈奴发掘记[G]//内蒙古自治区文物队.文物考古资料,1979(1):14-15.
[60] 田广金.桃红巴拉的匈奴墓[J].考古学报,1976(1):131-144.
[61] 田广金.西沟畔匈奴墓[J].文物,1980(7):1-10.
[62] 伊克昭盟文物站,内蒙古文物工作队.西沟畔汉代匈奴墓地调查记[J].内蒙古文物考古,1981(1):15-27.
[63] 内蒙古自治区文物工作队.鄂尔多斯式青铜器[M].北京:文物出版社,1986.
[64] 内蒙古文物工作队.内蒙古扎赉诺尔古墓群发掘简报[J].考古,1961(12):673-680.
[65] 陈凤山,白劲松.内蒙古扎赉诺尔鲜卑墓[J].内蒙古文物考古,1994(2):27-30.
[66] 潘行荣.内蒙古陈巴尔虎旗完工索木发现墓葬群[J].考古,1962(11):590;1965(6):273-283.
[67] 程道宏.伊敏河地区的鲜卑墓[J].内蒙古文物考古,1982(2):18-23.
[68] 中国科学院考古研究所内蒙古文物考古工作队.内蒙古巴林左旗南杨家营子的遗址和墓葬[J].考古,1964(1):36-43.
[69] 内蒙古文物工作队.察右后旗二兰虎沟的古墓葬[G]//内蒙古文物工作队.内蒙古文物资料选辑6,1964(4):99-100.
[70] 黎瑶渤.辽宁北票县西官营子北燕冯素弗墓[J].文物,1973(3):2-28.
[71] 魏坚.内蒙古中南部汉代墓葬[M].北京:中国大百科全书出版社,1998.
[72] 内蒙古自治区文物考古研究所.辽陈国公主驸马合葬墓发掘简报[J].文物,1987(11):4-24.
[73] 马文宽.辽墓辽塔出土的伊斯兰玻璃[J].考古,1994(8):736-743.

第14章　中国南方和西南的古代玻璃技术

黄启善

本章所说的南方和西南地区指的是四川、重庆、云南、贵州、广西、广东。西藏自治区也属于西南地区，目前仅见报道山南隆子县唐代中晚期的石棺墓出土了8颗玻璃珠[1]，未见其他古代玻璃出土情况的介绍，暂时不将其列入本章研究内容之中。

中国南方和西南地区，是一块美丽富饶的地方，属于亚热带和热带气候，空气湿润，雨量充沛，茂林修竹，郁郁葱葱。这里不仅资源丰富，物产充足，而且大部分地区都是沿边、沿海、沿江，具有通往东南亚各地海港码头的水路和陆路，自然条件得天独厚。根据考古发掘调查和研究结果，这一地区至少在春秋战国时期已使用玻璃作为装饰品，而往后的秦汉至隋唐、两宋，各个时期都有发现。特别是西汉时期的玻璃，数量多、种类繁、质量佳，是研究中国早期古代玻璃发展历史最不可多得的材料。

由于历史的原因，人们对于这些古代玻璃的来源，提出了各种质疑，是本地造，还是从海外输入？目前，由于对古代玻璃系统研究的资料较少，在考古报告中，几乎全部都把它列到报告最后一栏作为其他项目简单地描写几句，造成了古代玻璃的数量不清、外观特征不明，科学的测试或专门的研究更少。造成这一结果的主要原因有：① 从文献记载来看，这些古代玻璃大都说是从西方输入的，没有什么特别的不明之处；② 这些古代玻璃对古墓葬的断代未能充当佐证；③ 其发现数量少，资料比较零碎，特别是最直观的、最重要的、最能说明问题的玻璃作坊遗址尚未被发现，正是由于这一重要“硬件”的缺陷，因此对其“软件”即产品来源就存在着很大的疑难。尽管如此，黄启善还是根据目前所掌握的资料，进行一次较为充分的观察和分析研究。所提出的一些认识、假设和推论，离不开考古学、历史学、文献学、民族学等方面的史料，更离不开科学的测试手段等。

14.1 春秋战国时期的古代玻璃

南方及西南地区所发现的春秋和战国时期的古代玻璃不多,但发现的地点相当多,云南、四川、重庆、贵州、广东等省市都有发现,产品主要是以玻璃珠等为主的装饰品。出土的概要情况见表14.1。

表14.1 南方和西南各省市出土的春秋至战国时期古代玻璃统计表

器名	年代	地点						合计
		四川	重庆	云南	广东	广西	贵州*	
珠	春秋晚期至战国初期			1				1
珠	战国早、中期	1						1
珠	战国晚期	52	11	246			115	424
管	战国早、中期	1						1
管	战国晚期	3	8					11
蜻蜓眼玻璃珠	战国晚期	5	15	2	1		1	24
印	战国晚期	2						2
璧	战国晚期		2					2
纺轮	战国晚期	1						1
合计		65	36	249	1		116	467

注:*贵州省统计资料由贵州省博物馆刘明琼女士提供,仅限于馆内现有资料的统计。

14.1.1 春秋晚期至战国初期的玻璃珠

玻璃珠仅1枚。这枚玻璃珠出自云南江川李家山第22号春秋晚期至战国初期的墓葬。玻璃珠呈浅绿色、六棱柱形、两端平齐、中穿孔,长2.6 cm、直径1.1 cm(图14.1)。中国社会科学院考古研究所对与其相邻的第21号墓出土的木柄残片,进行了碳-14年代测定,得出年代为距今(2 500 ± 105)年,即公元前6—公元前4世纪,相当于春秋晚期。第22号墓与第21号墓在同一个山坡墓地中,出土文物也基本相同,都被列入江川李家山墓群中的第一期,其年代为春秋晚期至战国初期。如果这个墓葬年代推测无误的话,第22号墓出土的这枚玻璃珠就为西南地区最早的古代玻璃,此玻璃珠经电镜能谱分析,含二氧化硅高达81.36%,含氧化钾14.27%,属钾硅酸盐玻璃[2]。目前,黄启善无法对这枚西南最早的玻璃珠发表更多的意见。



图14.1 云南江川李家山春秋晚期至战国初期墓葬出土的六棱柱形玻璃珠(云南省博物馆藏)

14.1.2 战国早、中期的玻璃珠、管

这些玻璃管、珠是1980年3月在四川新都（今成都市新都区，下同）的一座大型长方形土坑木椁墓中发现的。玻璃管长0.8~2 cm，四棱柱形；玻璃珠呈青绿色，圆算珠形，直径0.4~0.8 cm，出土时位于棺材西端的南北外侧。这座墓葬比较大，长10.45 m、宽9.2 m、深3.62 m，伴随出土了青铜鼎、敦、豆、壶、矛、钺等文物200多件，被认为是第九代"蜀王墓"。

14.1.3 战国晚期的玻璃

战国时期的古代玻璃，大多为管、珠等小件玻璃器，并且有些为釉砂一类的产品。

1）玻璃珠

424件。这些玻璃珠被分别发现于四川、重庆、云南、贵州、广东等地。有乳白色、浅绿色、肉红色、深蓝色等多种颜色，半透明或不透明，器形有圆算珠形、圆形、圆扣形等。

2）玻璃管

11件。这些玻璃管主要分布于四川、重庆，颜色有蓝色、天蓝色、青绿色等。其中在四川犍为县五联公社和金井公社发掘的11座战国晚期墓葬中出土了3件：五联公社2号和7号墓葬中各出土1件，金井公社墓区探方中出土1件。五联公社2号墓还出土了1枚玻璃印，以及陶釜、陶盒、陶钵、骨圈等11件文物。2号墓墓室较小，长1.7 m、宽0.7 m、深0.9 m，属于一般平民百姓之塚。五联公社7号墓出土的玻璃管，长2.0 cm、直径0.8 cm，伴随出土的还有玻璃珠、陶釜、陶罐、陶豆、铜削、铜圈等12件文物，墓室长2.5 m、宽1.1 m、深1.5 m，属于小型墓葬。金井公社墓区探方中出土的玻璃管，长1.6 cm、直径0.1 cm，在管外表有多个凸起乳头状圆点（图14.2）。

上述3个玻璃管造型都是小竹形状，中心穿孔，表面呈绿色，不透明，虽未进行化学成分的分析，但其造型、色泽都与陕西、河南等地出土的西周玻璃珠十分相似。对陕西西周玻璃珠、管的分析结果表明，这些玻璃珠、管"只是含有少量玻璃相的多晶石英珠，属于釉砂之类的珠饰"[3]。因此，有人也把四川犍为县发现的战国晚期玻璃管列入釉砂珠之列[4]。如果这种推论和归类不误的话，那么可以说，中国自西周出现的釉砂珠饰，到了战国晚期仍在继续使用。四川犍为县发现的釉砂管，说明中国釉砂珠、管等装饰品流传时间之长、散布范围之宽广，反映了巴蜀地区民族文化与中原文化之间的交流已具有悠久的历史。



图14.2 四川犍为县战国墓出土的釉砂管（四川省博物馆藏）

四川犍为县出土的3件玻璃管，从器物外观看，其质地粗糙、透明度差，玻璃相很少，像是1件釉陶质的器物。通过对这3件及其他早期玻璃管的观察和分析，可对战国晚期釉砂珠饰的生产过程大致有以下几个方面的了解：

（1）选矿。选择能够制造玻璃的石英砂等矿料，然后将矿砂粉碎成粉末。

（2）炼土。把矿砂粉末与所需的助熔剂等原料搅拌并进行筛炼，使之成为可塑性较强的泥质。陕西、河南等地出土的西周玻璃珠、管主要成分是SiO_2，含量高达90%~94%，主要助熔剂为K_2O、Na_2O，主要着色剂为CuO。由此可见，中国西周所制造的玻璃管、珠饰，其主要配方是成分包含SiO_2、K_2O、Na_2O、Cu等的矿物，具体操作是将质地较纯的石英砂粉碎成粉末灰，加入含有钾、钠等元素的矿物作为助熔剂，并加入含铜矿物等作为着色剂，经反复筛炼后成型，其还不是玻璃态物质，而是釉砂。

（3）塑型。根据市场需要和地方民族的喜好，捏塑成人们喜欢佩带的珠、管等装饰品。

（4）修整。待珠、管的坯体稍干后，对其进行修整，使胎体光洁完整。

（5）上釉。釉料大约是由纯碱、石英砂、着色剂，如铜矿等原料组成。四川犍为县出土的釉砂管饰外表的釉汁较均匀，没有看到釉滴，可能是采用浸釉法，即将风干的管饰胎体浸入釉汁之中，这与陶瓷浸釉法基本相似。

（6）烧造。入窑烧造，掌握火候是十分关键的一环，温度过高就会被烧结变形，温度太低了又不成器。据对陕西一些类似的管饰进行测试的结果表明，这种管饰是在800~1 000℃的温度下烧成的，与原始陶瓷的烧成温度接近。

制造1件釉砂珠、管饰大致需要上述6个生产工序。南方地区早期玻璃以玻璃珠、管等装饰品为主，这些玻璃珠、管有的属于釉砂之类，不是现代所指的真正的玻璃。这些釉砂珠、管的玻璃化程度尽管达不到玻璃的水平，但其所采用的原料种类与玻璃的大致相同，只是制作工艺与流程有所区别而已。一种是先成型后熔融，另一种是先熔融后成型。前者属于制造玻璃的原始阶段，与陶瓷的制造技术有着千丝万缕的联系，是陶瓷技术的延伸与发扬。

3）玻璃印章

2枚，出土于四川犍为县五联公社战国晚期墓中，都是乳黄色，半透明、模铸。

（1）鹰嘴形纽印（五M1：4）。圆形印面，印纹为阴刻的花蒂纹。伴随出土的有铜剑、铜刻刀、铜削、漆器等5件文物。墓室非常小，由于受到破坏，墓室长度不明，宽度只有0.7 m，深0.76 m。这么小的墓，表明墓主人生前应是一般的平民百姓。玻璃印章出于这种平民之墓，可见玻璃并不是十分珍贵的物品，也反映了其来源并不遥远。

（2）管状钮印章（五M2：9）。圆形印面，印文为四叶纹，伴随出土的还有玻璃管、陶器、骨器等11件文物。该墓也是一座小型墓，墓室长1.7 m、宽0.7 m、深0.9 m。由此可见，墓主人生前也是一般的平民百姓，该墓的年代被认为是战国早期。有人认为犍为五联的玻璃印章与五龙石印有着异曲同工之妙，此二印无论材质和印文风格都是巴蜀印章早期形态[5]。印文虽不可译，但被归入“巴蜀符号”或者“巴蜀图文”印章之列。

四川、重庆发现的战国时期印章较多，特别是“巴蜀符号”印章，占巴蜀地区战国墓的20%以上，一座墓少则1枚、多则9枚。目前，这种“巴蜀符号”印章已发现87枚，以铜质居多，另有石质、骨质、玻璃等不同质地的印章，印文为符号形图案，很难破译。有人认为这种符号形图案印文，可能是族徽或是个人的标示[6]；也有人认为它是巴蜀文字之一种[7]；还有人认为是商人过境验关的一个身份护照，不同的商人用不同的符号标示[8]。

目前全国发现的战国时期的玻璃印章，见于报道的有4枚，四川省和湖南省各出土2枚。

湖南省的2枚中，其中1枚是在湖南长沙左塘第41号楚墓中出土的，玻璃印章呈绿色，复斗钮，印面正方形，边长0.95 cm，高0.8 cm，印文篆体“中身”二字，模铸成型。四川巴县冬笋坝战国墓出土的1枚铜印，印文是“中仁”二字，这个“中仁”与“中身”是否有关系，值得考察。另1件玻璃印是收集品，来源地点不明，浅黄色，印面正方形，边长0.95 cm，印文篆体“水义”二字。

南方地区发现的玻璃印章与巴蜀地区所发现的铜、石质印章有何关系，是值得人们关注的课题。

印章是一种作证明记号的工具，在古代既是皇权的象征，也是个人的标志，不少学者认为，印章滥觞于模制铜器，如黄宾虹先生说“古昔陶冶，抑埴方圆，制作彝器，俱有模范，圣创巧述，宜莫先于治印，阳款阴识，皆由此出”。印章的最早出现可追溯到商代，有木、石、金属、骨、角、牙、水晶、玉、玻璃、玛瑙……不同质地的，其印文也由图案化向文字发展。如《春秋运斗枢》中说，“黄帝时，黄龙负图，中有玺章”。《周书》曰，“汤放桀，大会诸侯，取玺置天子宝座”。汉代刘熙《释名》上说，“玺，徙也，封物使转徙而不可发也，印、信也，所以封物为信验也”。由此可见，印和玺，实质上是一个东西，传说秦始皇忌讳“玺”音近于“死”，始名为“宝、印、章”。由此，后来才叫印章，目前我们能看到实物与文献相互印证的印章，始自春秋时期，战国以后达到了成熟，以至流行到当今，官府有官印，百姓有私印，成为官府政权的标志和百姓个人的信物。而具有图形特征的战国初期的巴蜀符号印章，在巴蜀地区十分显眼，形成了一种独特的文化，甚至有的人认为秦汉“肖形印”的出现，有可能受到巴蜀印章的影响。

巴蜀印章的图案花纹，与四川、重庆等地所发现战国时期铜器花纹有相似之处。因此，不少人认为巴蜀印章的花纹与当地的铜器有着千丝万缕的联系。这种图形有的可译释为文字，称为巴蜀图语[6]；有的认为它是一种巫术符号，或者是图腾、族徽[6]；也有的主张这种印章印文称为巴蜀图语或巴蜀文字，还不如称为“巴蜀符号”更为贴切[9]。四川省发现的两枚玻璃印章，其纹饰分别是花蒂纹、四叶纹，这些纹饰在中国青铜器上都是常见的花纹装饰，而这些花纹作为印章印纹，有何意义不得而知。在四川、重庆，这种以花纹或符号做印章印文却大量地被发现，有人认为这与巴蜀地区商业高度发展有关。商人流动大，不受地域之限制，但为了证明其身份和标志，必须有一种个人的特别标记。因此，这些印章是商人的一种身份证，或是商人进行贸易的一种信物。“以其盖印在缣帛片（或皮张）上，就是一种持向某一特定的名片”[8]，意即，以其盖印在成匹的丝织品上，就是巴蜀地区通过南丝绸之路输出丝绸的“商标”。所以，西汉张骞在大夏认出来自蜀地的丝绸——蜀布，正是凭这种“商标”来辨认的。因此，玻璃印章是在特定的历史背景和特定的条件下产生的。它与湖南出土的两枚汉字玻璃印有着很大的关联，特别是湖南出土了“中身”玻璃印，在四川发现的铜印章中也有“中仁”二字。这些玻璃印章虽然未作化学成分分析，但与其类似的汉代玻璃印的化学成分分析结果为铅钡玻璃，如香港关善明分析的汉“鄞婴”“都”印，其氧化铅含量高达33.47%~34.09%、氧化钡3.82%~7.24%。由此可见，用玻璃制造印章，以中国早期的玻璃制作技术是完全可以达到的，当然它是在巴蜀地区生产还是在湘鄂地区生产，值得进一步研究。有的学者认为，四川五联发现的玻璃印与该省五龙

地区出土的石质印章，属于异曲同工的产物。但从玻璃印章造型看，它是采用模压成型的，这与中国先秦玻璃制造方法是相似的。

4）蜻蜓眼玻璃珠

南方和西南地区发现的蜻蜓眼玻璃珠不多，现报道仅有21颗，主要散布在四川、重庆、广东，而以重庆市发现较多，这可能与其邻近楚国有关。广东肇庆市北岭松山战国晚期墓出土了1件蜻蜓眼玻璃珠（M1：137），为蓝色半透明状，圆形有孔，有白色涡纹，长径1.8 cm、孔径0.9 cm（图14.3）。这件玻璃珠的形制纹样与湖南长沙磨子山、山东曲阜故城、甘肃平凉庙庄所出同类器物完全相同，年代为战国早期至晚期；而与广州象岗南越王墓、先烈路汉墓出土的同类器物略有区别。肇庆北岭松山战国墓的随葬器物多有楚器风格，如铜罍、铜三足盘、铜提梁壶等，邱立诚认为这件蜻蜓眼玻璃珠亦有可能来自楚国[10]。南方和西南地区发现的这些蜻蜓眼玻璃珠，颜色主要是蓝色，不透明，圆形珠饰，珠表面嵌饰黄、白、蓝相间的圆圈眼纹，形似蜻蜓的复眼。根据目前所看到的报道，大致可将其分为以下三种。



图14.3 广东肇庆市松山战国墓出土的蜻蜓眼玻璃珠（肇庆市博物馆藏）

（1）圆珠形蜻蜓眼玻璃珠。珠表面嵌入白、黄纹并间方格网纹。网纹交叉点嵌入一小颗蓝色眼珠，网纹为双线间以细小珍珠形圆点，整个造型美观大方。以四川成都市羊子山蜻蜓眼玻璃珠为例，该玻璃珠长1.8 cm、内径0.7 cm，不透明，类似造型的蜻蜓眼玻璃珠在湖南怀化楚墓中发现较多，从战国早期到晚期都有发现。

（2）凹型蜻蜓眼玻璃珠。珠的表面眼点内凹故名，这类珠体圆形，不透明，凹眼大小不一，如四川涪陵小田战国墓出土的8枚蜻蜓眼玻璃珠，有深蓝色、淡红色，不透明，直径1.5 cm、孔径0.7 cm。这种凹眼珠，在蜻蜓眼玻璃珠中十分罕见，也有人认为原来是嵌有眼珠，后来脱落造成凹眼，但经仔细观察，似乎没有镶嵌的痕迹。

（3）陶胎蜻蜓眼玻璃珠。这类眼珠有橄榄形和球形两种，胎体为浅红色夹沙陶质，表面涂白色陶衣，饰几何纹或饰圆圈纹。如四川成都市光荣小区第5号战国晚期墓出土的3件陶胎蜻蜓眼玻璃珠。胎体泥质夹陶质，嵌入的眼珠为玻璃质，透明光亮，栩栩如生，类似的眼珠在河南、陕西等地也有发现，有人研究认为，这种陶胎蜻蜓眼玻璃珠比较容易生产，价格可能相对便宜一些，适合一般的平民百姓使用。

目前的考古发掘资料表明，至少在春秋末期至战国早期中国就已出现蜻蜓眼玻璃珠，例如在新疆轮台县群巴克（IM27墓）出土的蜻蜓眼玻璃珠，被认为是中国发现最早的蜻蜓眼玻璃珠。到了战国中、晚期，河南、陕西、湖北、湖南、四川、广东等地也已出现蜻蜓眼玻璃珠，而且有人认为这种蜻蜓眼玻璃珠在湖北等地已大量生产[11]，并逐步向四川、重庆、云南等西南地区延伸扩展。但广西、贵州至今仍未发现，成为蜻蜓眼玻璃珠散布的空白地。

西汉以后，蜻蜓眼玻璃珠逐渐减少，代之而起的是圆算珠形玻璃珠。至六朝以后，蜻蜓眼玻璃珠基本消失，不再见有作为陪葬品的出土。有人认为，中国在战国时期生产的组合型蜻

蜓眼玻璃珠、小点网纹蜻蜓眼玻璃珠、陶胎蜻蜓眼玻璃珠、方形蜻蜓眼玻璃珠，其造型和眼珠都与西方生产的蜻蜓眼玻璃珠有所不同，如重庆市南岸区出土的蜻蜓眼玻璃珠，网纹间密集细小珍珠形的圆点，是否是中国自制的，尚待研究。

南方地区历来是少数民族聚居的区域，人们十分喜爱佩戴五光十色的装饰品。因此，不论是玻璃珠还是其他质地的珠饰，都是人们作为个人装饰的首选品。特别是玻璃珠，不易变质变形，而且又可以随意制造出多彩多色的珠饰，比如蜻蜓眼玻璃珠，就是人们最喜爱的装饰品。在本章所叙述的南方几个省份除广西、贵州尚未发现外，其余的省市都有发现，虽然数量不多，但形式各样，适合各类人的需求与欲望。在墓葬中，圆算珠形玻璃珠常常是成串且大量地出土，但蜻蜓眼玻璃珠则较少见，一般一座墓少则1颗，多则2~3颗，出土时多数位于墓主人的头部或胸部，当是墓主人的装饰品无疑。

5）玻璃纺轮

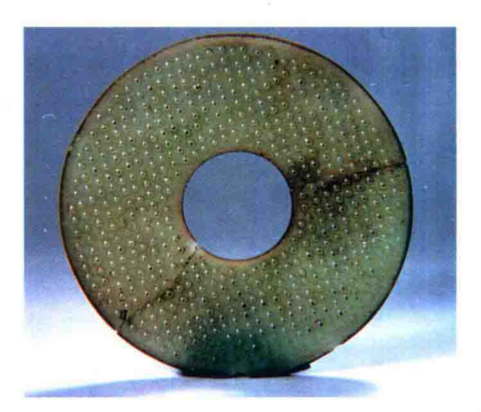
1件，出自四川茂县牟托第1号战国晚期的石棺墓中，是目前中国境内发现的最早的也是唯一的玻璃纺轮。纺轮呈绿色，一面隆凸，中心穿孔，直径3 cm，位于墓主人的腰部。纺轮是纺线之工具，源自新石器时代，有陶纺轮、铜纺轮、石纺轮等不同质地的纺轮。战国时期，云南、四川、重庆、广东、广西等地都发现有类似的纺轮作陪葬品，甚至有的地方还把整个纺织工具入土陪葬，如云南李家山发现的23座战国墓葬中，就有6座墓葬陪葬了纺织工具。由此可见，玻璃纺轮的出现并非是无渊源的，它与当地民族民风有着千丝万缕的联系、与民族纺织业的盛行有直接关联。玻璃纺轮与陶纺轮、铜纺轮、石纺轮等各种不同质地纺轮，同样具有纺线功能，而且由于其色泽艳丽，加上在纺线时会旋转出五颜六色，成为民间百姓所喜爱的纺线的主要工具。

6）玻璃璧

2件。分别介绍如下：

（1）浅绿色，半透明，圆形扁平体，饰谷纹，面径11.9 cm、内径3.8 cm、厚0.3 cm，1955年宝成铁路南段出土（图14.4）。

（2）涡纹玻璃璧，半透明，双面饰菱形排列的涡纹，通径11.5 cm、孔径4.0 cm、厚0.25 cm。1999年重庆市巫山县城附近的麦沱第48号战国晚期墓出土，伴随出土的还有铜鼎、铜壶、铜礁壶、铜勺、铜带钩、陶罐等文物。春秋时巫山为夔子国地，楚人灭夔，战国时楚在此地设立巫郡。而麦沱第48号战国晚期墓出土的铜壶、铜勺、玻璃璧等器物组合形态，“与大量晚期楚墓同类材料相比如出一辙”[12]。故此玻璃璧当为楚国产品。


图14.4　宝成铁路南段出土的战国玻璃璧（重庆市博物馆藏）

璧是中国独有的民族礼仪制品，其起源很早、流行时间最长，自新石器时代至西汉每一个时代都有出现。春秋战国时期，中国开始仿玉制作玻璃璧；在湖南、安徽等地楚墓中，都有发现。仅湖南省已发现楚玻璃璧达200多面，而且经化学成分分析，都属战国早期自制的铅钡玻璃系统。

14.2 两汉时期的古代玻璃

14.2.1 古代玻璃的出土情况

南方和西南地区两汉玻璃，除了装饰品之外，还发现有玻璃器皿和平板玻璃等，部分统计见表14.2。

表14.2 中国南方和西南地区出土的汉代玻璃制品统计

玻璃制品名称	广西	广东	四川	重庆	云南	贵州	合计
玻璃珠	35 060	5 142	3	37	1 150	146	41 538
蜻蜓眼玻璃珠			3		1		4
管	5		2				7
璧	2	14					16
耳珰	29	7	5	34		25	100
鼻塞	10	2					12
环	2						2
龟形饰	1						1
小狮						1	1
带钩		4					4
平板玻璃		22					22
贝型珠		70					70
碗	3	8					11
杯	13						13
盘	2						2
羊坠						1	1
剑彘	1						1
合计	35 128	5 269	13	71	1 151	173	41 805

14.2.1.1 玻璃装饰品

1）玻璃珠

共41 538颗，这类珠饰数量居已发现的汉代玻璃之首，颜色多种多样。经化学成分分析，分属铅钡玻璃、高钾低镁玻璃、高铅玻璃等体系。出土时多数居于墓主人的胸部或头部，有的放置于膝区之中，有的与绿松石等珠饰串连成珠褥，覆盖于人骨架之上。这类珠饰不仅中国有，西方也有。因为其制作工艺简单，适合家庭式小作坊生产，成本低、产量大、价格低，成为一般平民百姓所首选的装饰品。以圆算珠形珠为主，还有椭圆形、棱柱形、渔网坠形、足球形、扁扣形等。

圆算珠形珠，数量最多。玻璃珠最大的长0.5~1.0 cm、直径0.3~0.5 cm，最小的长0.2~0.5 cm、直径0.1~0.3 cm，重量1~10 g。中间穿孔，孔径0.1~0.2 cm，以蓝色为主，另外还

有青、淡青、绿、湖水蓝、白、月白、砖红、紫褐等颜色，半透明居多。广西经过化学成分分析的87件都是K_2O-SiO_2玻璃；有11个样品为钠钙玻璃，均为串珠残片。

广西其他形状的一些玻璃珠情况如下：

（1）椭圆形珠。淡绿色，透明，中间穿孔，长1.8 cm，直径0.3~0.5 cm。化学成分中SiO_2含量为83.90%、K_2O含量为11.03%，属于K_2O-SiO_2玻璃系统。

（2）棱柱形珠。淡绿色，透明，分六棱柱形、八棱柱形两种，两头尖，中间穿孔，长1.0 cm。

（3）橄榄形珠。绿色，半透明，中间穿孔，表面有玻璃质光泽，肉眼可看到很细密的小气孔，长1.7 cm、头径0.2 cm、孔径0.15 cm。

（4）渔网坠形珠。有深蓝色和紫色，长0.6 cm、头径0.25 cm、中间径0.4 cm、孔径0.1 cm。经测试，含SiO_2为78.22%、K_2O为13.8%。

（5）扁扣形珠。砖红色，长1.0 cm、头径0.3 cm。1955年3月在广西贵县火车站工地第58号西汉晚期墓出土。

2）玻璃管

7件。其中，1975年广西合浦县堂排第2号西汉晚期墓出土的1件为蓝色、圆形，中穿孔。经测试，含SiO_2为79.10%、K_2O为10.4%，属于K_2O-SiO_2玻璃系统。

3）蜻蜓眼玻璃珠

多数嵌以绿、白两色，个别还嵌入红色，并组成十分漂亮的几何图案纹饰。一般长1.8 cm、直径2.0 cm。南方地区目前除广西、贵州两省区尚未发现蜻蜓眼玻璃珠外，其余省区都有发现。其中，广东广州市黄花岗3号西汉早期墓出土了1件，为黑色底上镶嵌红、白、绿三色圆圈纹和菱形纹饰，长1.8 cm、直径2.0 cm，经测试为铅钡玻璃。

广州市南越王墓出土2件，1件为南越王夫人的珠饰，它与金珠、玉饰等放置一起，眼珠为青绿色，镶嵌以蓝色和白色相间的圆圈纹；另1件为蓝底上饰以白色和青绿色圆圈纹，直径2.1 cm、长1.3 cm，经测试，也是属于铅钡玻璃系统[13]。云南晋宁县石寨山西汉墓出土了2件蜻蜓眼玻璃珠（图14.5）。重庆市南岸区西汉墓出土了3颗蜻蜓眼玻璃珠，其中1件为方形、蓝色底镶嵌4颗白色同心圆纹，并间9颗白色小斑点，长0.35 cm、孔径0.35 cm、重2 g；另1件圆形，蓝色底镶嵌3颗白色同心圆纹，长0.4 cm、孔径0.5 cm、重1.5 g（图14.6）。四川绵



图14.5　云南晋宁县石寨山出土的西汉蜻蜓眼玻璃珠（云南省博物馆藏）



图14.6　重庆市西汉墓出土的蜻蜓眼玻璃珠（重庆市博物馆藏）

阳西汉墓出土了1件蜻蜓眼玻璃珠，蓝色底镶有绿、白色同心圆圈纹。

4）玻璃耳珰

100件。南方地区发现的玻璃耳珰不少，形状主要有3种。第一种为两头大小相同，中间束腰；第二种为一头大一头小，大的一头呈喇叭形，小的一头与腰部相等，中间穿孔；第三种的腰部较粗短，一头呈喇叭形，另一头较平。主要以蓝色、一头呈喇叭形的玻璃耳珰最常见，如贵州清镇琊珑坝M18出土的汉代玻璃耳珰（图14.7）。从玻璃耳珰的造型看，也是模铸形成。成分体系上既有K_2O-SiO_2玻璃，如广西贵县北郊第7号东汉墓出土的一件蓝色耳珰，含SiO_2 78.11%、K_2O 13.6%、MgO 0.68%；也有PbO-BaO-SiO_2玻璃，如广西昭平县北陀公社乐群大队第5号东汉墓出土的墨绿色耳珰，含PbO 22.28%、BaO 8.28%。



图14.7　贵州清镇琊珑坝M18出土的汉代蓝色玻璃耳珰（贵州省博物馆藏）



图14.8　广西合浦县出土的西汉玻璃环

5）玻璃环

2件，广西合浦县饲料公司第7号西汉墓出土。其中1件为蓝色、半透明，圆环形，中间厚隆起并逐渐向边沿变薄，外径7.5 cm、内径5.2 cm、中间厚1 cm（图14.8）。经化学成分分析，含$SiO_2$73.83%、K_2O高达17.6%，属于K_2O-SiO_2玻璃系统。

6）龟形佩饰

1件，1985年广西合浦县文昌塔第1号西汉墓出土。青绿色、透明，椭圆形，中间隆起，有4只爪呈三叉形，头尾形状与爪形相似（图14.9）。长5.5 cm，宽2.1 cm，厚0.95 cm。经化学成分分析，含SiO_2 77.87%、K_2O 16.97%，属于K_2O-SiO_2玻璃系统。从玻璃造型看，是用玻璃模压成龟形体后，再粘上4只爪。越南沙黄遗址出土的玉器，也有龟形器类似的爪形。广东省石峡文化遗址中出土的玉环，也有类似4只爪。有人称之为角轮形环，其实非也，这是龟形的佩饰品，龟是长寿之象征，佩龟形佩饰，则寓意吉祥长寿。

7）带钩

4件，模铸，只有广东有发现，其形状与汉代常见带钩十分相似。其中1件为深绿色，长7.8 cm，经测试为钾硅玻璃；另1件为深黄色，长12 cm。

8）玻璃贝

70件，广州南越王墓出土。模铸，仿贝形，浅蓝色，长1.4~1.5 cm、宽0.9~1.1 cm，经测试为铅钡玻璃。

9）平板玻璃牌饰

22件，广州南越王墓出土。长方形，蓝色，透明，外镶嵌铜框，长8.6~10 cm、宽4.3~5 cm，经测试为铅钡玻璃（图14.10）。



图14.9 广西合浦县文昌塔出土的西汉龟形器

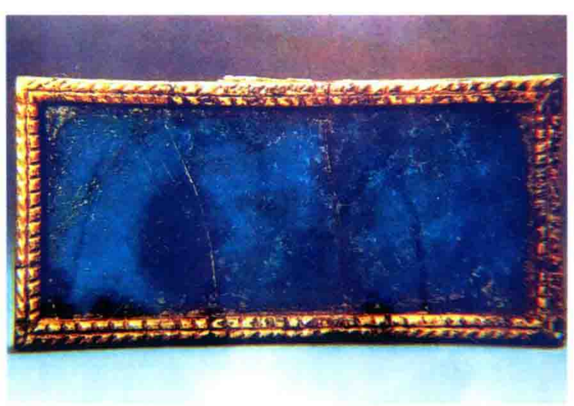


图14.10 广州西汉南越王墓出土的玻璃牌饰（广州市文物考古研究所藏）

10）小羊坠与小狮坠

这两件玻璃动物小坠都发现于贵州省。小羊坠，长1.6 cm、高1.3 cm，绿色、透明，羊作蹲状。小狮坠，长1.8 cm、高0.6 cm，天蓝色，透明，狮呈蹲坐式，腰部穿孔。

11）玻璃璧

16件，主要发现于两广地区。其中广东发现14件，颜色有青白色、深绿色、黄白色，双面饰谷纹、涡纹，面径11.4~14 cm、内径4~5.2 cm、厚0.3~0.5 cm。广西所发现的2件玻璃璧，其中一件是1956年贵县加工厂第3号东汉墓出土，蓝色，饰方格纹；另一件是1971年合浦县望牛岭第2号西汉墓出土（图14.11），与广东玻璃璧所饰的纹饰不同，正面饰方格纹，另一面无纹饰，圆形、蓝色，面径13.70 cm、内径3.7 cm、厚0.4 cm、重190 g，经密度测定为铅玻璃。

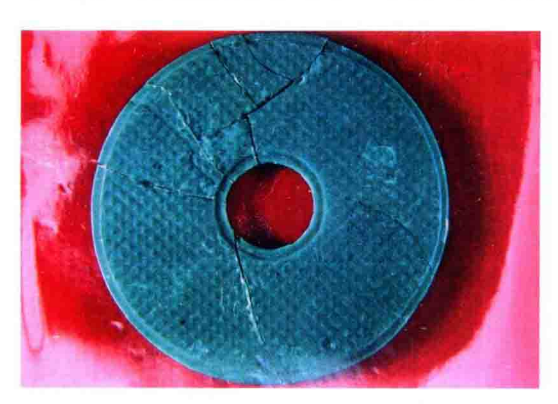


图14.11 广西合浦县望牛岭出土的西汉玻璃璧

12）玻璃鼻塞

12件，主要发现于两广地区，其中广西发现10件，广州发现2件。广西发现的10件玻璃鼻塞，都是圆柱形冒钉状，蓝色，不透明；贵县罗泊湾1号西汉墓出土的1件鼻塞为绿色、半透明，长1.3 cm、大头径0.8 cm、小头径0.55 cm，化学成分中含PbO 34.4%、BaO 17.4%，模铸成型。广州发现的2件玻璃鼻塞，

造型与广西的不同，蓝色透明，八角形柱，长 1.1~1.2 cm，模铸。

13）玻璃剑彘

1件，广西合浦黄泥岗第一号东汉时期墓出土。该墓还出土了玻璃杯、玻璃珠，铜器、陶器、玉石器，玛瑙、琥珀、水晶等文物；同时还出土一方滑石官印，文曰“徐闻令印”，并出一方私印，印文“陈褒”。由此可知此墓主是徐闻县令陈褒，他在徐闻当官，死后归葬。与其随葬的玻璃剑彘，乳白色，半透明，长方形，长 10.3 cm、宽 2.8 cm，背面饰卷云纹；为随葬青铜剑上装饰品，原以为是“玉剑彘”，经测试属中国自制的铅钡玻璃系统。

14.2.1.2 玻璃器皿

玻璃器皿主要在两广地区发现，主要有碗、杯、盘三种类型。

1）碗

11件，其中广东8件、广西3件。广东玻璃碗，深蓝色、半透明，广口、圆腹、平底，外腹饰弦纹，口径 0.6 cm、底径 4 cm、厚 0.3 cm，经测试为钾硅玻璃；广西所发现的3件碗，只见资料，不见实物。

2）杯

13件，都是广西发现，有高足杯、圆底杯、高足托盏杯三种。其中，高足杯1件，淡青色，透明，为钾硅玻璃。高足托盏杯1件，淡青色，透明度高，杯外腹饰中国汉代常见的方格纹，为吹制玻璃。圆底杯11件，有深蓝色、蓝色、天蓝色、绿色，半透明，壁厚，杯高 3.2~6.8 cm、口径 5.8~9.2 cm，经测试均属于高钾镁玻璃。图 14.12 为广西合浦县文昌塔第70号西汉墓出土（M70：52）的玻璃杯，该杯淡青色、半透明、敛口、平唇、折腹并饰三道弦纹，通高 5.2 cm、口径 7.4 cm。经化学成分分析，含 SiO_2 79.69%、K_2O 16.22%。

3）盘

2件，都是广西发现。一件是1988年10月在合浦县环城母猪岭第1号汉墓出土的，为天蓝色、半透明，器表散布小气泡，口微敛，平底，器底内均留有旋转打磨痕迹，通高 2.5 cm、口径 12.7 cm、器壁口沿厚 0.3 cm，从口沿向底部逐渐增厚，口部饰一道细弦纹（图 14.13）。另一件是1955年8月在贵县汽车路第5号东汉墓出土的，为青绿色、半透明，高 3.4 cm、口径 12.7 cm，经化学成分分析，含 SiO_2 77.7%、K_2O 16.8%。2件玻璃盘均为模压成型。



图 14.12 广西合浦县文昌塔西汉墓出土的玻璃杯



图 14.13 广西合浦县母猪岭西汉墓出土的玻璃盘

基于上述，黄启善对南方和西南地区的两汉玻璃，有如下几点认识：

（1）玻璃珠、耳珰等装饰品，几乎广泛分布在南方和西南地区，这充分证明了这一区域的民族仍然把玻璃珠视为装饰品，也进一步反映了玻璃装饰在两汉时期仍然被继续使用。

（2）两汉时期，不仅玻璃装饰仍继续生产，而且新生产了玻璃器皿，尽管玻璃器皿散布范围不广，但随着玻璃制造业的扩大和技术水平的提高，生产一些模铸玻璃是有可能的。江苏徐州北洞山西汉墓出土的16件直筒形玻璃杯和河北省满城汉墓出土的玻璃耳杯、玻璃盘，都有浓郁的民族特色，与直筒形玻璃杯一起出土的玻璃兽，经测试含氧化铅达39.25%、含氧化钡16.23%，属铅钡玻璃，故有人认为，“徐州地区出土玻璃器物数量之多，及器形独特，表明这批玻璃器物可能是在徐州附近地区的特产”[4, 14]。河北刘胜墓（公元前113年）出土的玻璃耳杯、盘，完全是仿自西汉特有的铜式漆耳杯、盘等相类似的器物。这两件玻璃耳杯、盘经测试，也属于中国早期自制的铅钡玻璃制品。

两广地区的玻璃杯、盘、碗等器物，无论从造型或其所饰的纹饰，在西汉的青铜器、陶器等类似器物中都可以找到与其相似的特点和风格，只是玻璃器皿的化学成分与徐州、河北两地不同，经测试，这一地域的玻璃器皿都是高钾低镁玻璃。玻璃质地比较坚硬，虽埋于地下2 000余年，没有像徐州、河北那些铅钡玻璃那样严重腐蚀，而是光泽闪亮如故。过去铅钡玻璃器皿不宜“沃以热酒”，玻璃工匠有可能寻找到新的技术解决此问题，当然这批钾玻璃是中国工匠自制还是外国工匠引进技法和配方在中国制造，“不得而知，但经对两广地区钾玻璃原料来源进行测试分析，认为这些钾玻璃的原料是在本地的”[15]。葛洪《抱朴子·内篇·论仙》记载：“外国人作水晶碗，实是合五种灰以作之，今交广多有得其法而铸作之者”，这条史料清楚地记载了战国“交广”人（今广西、广东、越南一带）已掌握到玻璃的制造技术。从两广地区出土大量的汉代玻璃来看，黄启善认为“两广地区开始掌握制造玻璃技术的时间比晋代更早”[16]。《南州异物志》记载：“玻璃本是石，以自然灰治之。自然灰状如黄灰，生南海滨，亦可浣衣，用之须淋，但投之水中，滑如苔石，不得此灰，则不可释。”有人认为“生南海滨”的自然灰有可能是一种自然纯碱或草木灰，是制造玻璃所必需的一种助熔剂。史美光指出，“在中国出土的K_2O含量极高玻璃中，不论是K_2O-SiO_2系统玻璃或是1世纪时的$K_2O-PbO-SiO_2$玻璃或是14世纪的博山钾玻璃，都是有MgO含量极低的特点，这意味着中国汉墓出土的钾玻璃采用了与西方不同的原料”[2]。王俊新等对广西合浦堂排出土的3件西汉玻璃进行了测试分析，认为这是“继铅钡玻璃之后又一具有中国地方特色的早期古代玻璃”[15]。

14.2.2 汉代古代玻璃的化学成分分析

运用科学手段对古代玻璃进行化学成分分析，是解决玻璃来源问题的一个重要途径，同时也是了解玻璃制造工艺的主要依据之一。东、西方古代玻璃生产采用的原料不同，西方以钠钙玻璃为主，中国以铅钡玻璃为主。原料不同，工艺技术水平不同，以及民族文化、民族审美等方面不同，所生产出来的产品也不相同。采用科学的测试手段来区分东、西方古代玻璃，已被学术界所广泛使用。近年来学术界对南方地区汉代古代玻璃的一些化学成分的分

析结果，可参见相关文献[13,16-18]。

近年来，对于广西古代玻璃化学成分的分析进行了较多工作。已先后采用了XRF特别是pXRF、PIXE、ICP-AES作原位分析，共测试了百余件样品，涉及广西发现的古代玻璃器皿如玻璃杯、盘和玻璃装饰品如玻璃珠、耳珰、环、璧等。其中合浦汉代玻璃共测试了134个样品，占广西古代玻璃总测试量的91.16%。各种测试结果见本书附录B.2、C.2。

到目前为止，广西古代玻璃制品已抽136个样品进行化学成分分析，发现这些测样中，属钾硅玻璃系统的有89个，占总测样的65.44%，成为广西汉代玻璃的主流产品（表14.3）。从表中也可以看到广西汉代玻璃主要有7种不同的化学成分。

表 14.3 广西汉代玻璃系统对比表

玻 璃 系 统	测试样品数量	所占比例（%）
K_2O-SiO_2 系统玻璃	89	65.44
$PbO-BaO-SiO_2$ 系统玻璃	15	11.03
$PbO-SiO_2$ 系统玻璃	4	2.94
$Na_2O-K_2O-PbO-SiO_2$ 系统玻璃	3	2.21
$K_2O-CaO-SiO_2$ 系统玻璃	2	1.47
$Na_2O-CaO-SiO_2$ 系统玻璃	11	8.09
$Na_2O-CaO-PbO-SiO_2$ 系统玻璃	2	1.47

从测样结果看，南方和西南地区的汉代玻璃，有较多已被确认为中国自制的早期的铅钡玻璃。铅钡玻璃不仅在东南沿海地区生产，而且在四川省边远地区的理县佳山也有发现，并认为“佳山出土的烧料珠应为当地的石棺葬居民所生产”[19]。四川理县佳山汉代玻璃珠的化学成分见表14.4。

表 14.4 四川理县佳山出土西汉早期玻璃珠的化学成分 （%）

玻璃珠	S	Fe	Ca	Pb	Ba	Mn	Ni	Cd	Cu
米黄色珠	13.70	12.67	8.67	11.41	21.48	7.12	6.38	4.86	6.9
蓝色珠	11.06	13.26	10.27	18.37	20.45		8.29		15.35

由此可见，铅钡玻璃在两汉时期仍有生产，随着科学技术的发展，两汉时期新出现了一批高钾低镁玻璃，而且所占比例过半，从而向人们提供了一个新的信息，南方和西南地区的两汉玻璃制造业不仅继续生产先秦的铅钡玻璃，而且在此基础上新生产了一种高钾低镁玻璃，虽然这种玻璃的最早发明者仍不能确定，但文物考古不断地发现，将会解开这个谜团。当然，也有人认为，南方和西南地区的古代玻璃大都是从西亚地区输入的，应是外来之物，但如果细致研究，就会发现西方所生产的玻璃容器无论造型或者化学成分

都与南方和西南地区的玻璃迥异。当然，南方（海上）丝绸之路会有外来玻璃输入，但这种输入是有限的，很难满足市场需要。从两广汉墓出土的玻璃制品来看，凡有可能称为“豪族”的大墓都很少出土玻璃；一些平民百姓的小型墓葬中却出土了大量的玻璃制品，包括玻璃珠、玻璃杯、盘等。按《汉书·地理志》所讲，进口玻璃是用“黄金”等贵重货币去购买回来的昂贵之物，难道投入市场，商家以亏本代价来迎合平民百姓的低价要求吗？这显然是不可能的。因此，进口的玻璃是昂贵的，平民百姓是买不起的。汉墓出土的玻璃，恰恰多出自平民百姓的小墓之中，这反映了只有当地自制，方能物美价廉地适合百姓的需求。

14.3 东晋至宋代的古代玻璃

东晋至宋代玻璃制品，在南方和西南地区发现不多，所发现玻璃制品的数量可见表14.5。从表14.5所统计的数字看，玻璃珠等装饰品仍是这个地区玻璃制品中的多数，占总数的99.9%，而以贵州省居多，而且分散较广，延续时间长，自东晋至宋代，几乎每个朝代都见其踪影。从发现的数量看，有往上递增之势。这充分反映了贵州当地对玻璃制品的钟爱。

表14.5 中国南方和西南地区出土的东晋至宋代玻璃制品统计

地点	东晋		南北朝		隋唐		宋代	合计
	珠	罐	珠	耳珰	珠	杯	珠	
贵州	456		405	3	10		1 561	2 435
重庆			333					333
四川	182		22		23			227
广东		1						1
广西			5			1	3	9
云南					800			800
合计	638	1	765	3	833	1	1 564	3 805

14.3.1 玻璃装饰品

1）玻璃珠

共3 800件，其中东晋有638件，占总数的16.8%，南北朝有765件，占总数的20.1%，隋唐有833件，占总数的21.9%，宋代有1 564件，占总数的41.2%。这些数据，虽然不能完全反映该地区玻璃制品的全貌，但在一定程度上反映了该地区玻璃发展历史的点点滴滴。

（1）东晋玻璃珠。主要发现于贵州和四川，以圆算珠形珠为主，颜色有蓝、绿、红、黄色，半透明，中穿孔，珠体不大，多似绿豆，个别大如黄豆颗粒。

（2）南北朝玻璃珠。主要发现于贵州、四川、重庆、广西，以圆算珠形珠为主，还有一些长管形和缕孔形小珠，颜色主要有蓝、红、黄、绿、黑等，半透明。

（3）隋唐玻璃珠。主要发现于贵州、云南、四川，其中云南大理市崇圣塔出土800余颗，圆算珠形珠，颜色有褐、黄、绿、白、黑、蓝及无色，一般大珠高1.2 cm、外径1.5 cm、孔径0.09 cm，小珠高0.1 cm、外径0.12 cm、孔径0.06 cm。

（4）宋代玻璃珠。主要分布于贵州，广西有零星发现。除了大多数是圆算珠形珠外，还新发现了一种梅花形玻璃珠。这种梅花形玻璃珠，发现于贵州清镇干河坝三座北宋晚期墓葬之中，颜色为白色、黑色，半透明，扁圆五瓣梅花形，中有一大穿孔，厚1.0 cm、孔径1.0~1.2 cm，模压成型。对于这些梅花形玻璃饰，关善明收藏有35枚，认为是元代之物，是一种耳坠之饰[4]。内蒙古乌兰察布盟右前旗第8号元代墓出土的一对金耳环，一件蓝色玻璃梅花瓣饰被镶嵌于金耳环上端，而且这种耳环被认为“流行于金元代”。

2）玻璃耳珰

共3件，贵州清镇芦荻余家龙潭清第141号六朝墓出土，蓝色，圆柱形，一头呈喇叭形，另一头与器体同样大小，中心穿孔，半透明，长1.8~2.0 cm。这几件六朝玻璃耳珰与汉代玻璃耳珰的造型、大小不一样，反映了六朝耳珰与汉代耳珰是不同的，而且这几件耳珰出自有确切年代的墓葬，成为今后发现类似耳珰的断代标准器。



图14.14　广东肇庆市坪石岗东晋墓出土的玻璃器

14.3.2　玻璃器皿

1）玻璃罐

这是南方地区发现的唯一的晋代玻璃罐，出土于广东肇庆市一座东晋墓中，墓主人为“广州苍梧广信侯”，葬于“太宁三年（325年）正月十日”。该玻璃罐口径8.8 cm、高7.0 cm，绿色、透明、壁薄、鼓腹圆底，重54 g，吹制成型（图14.14）。

2）玻璃杯

广西钦州久隆一号隋唐墓出土，杯口直且微内敛，深腹，把柄竹节形，足喇叭形，吹制，绿色，半透明，高8.5 cm、口径6.3 cm、足径3.2 cm（图14.15）。经能谱分析，含PbO高达62.1%。

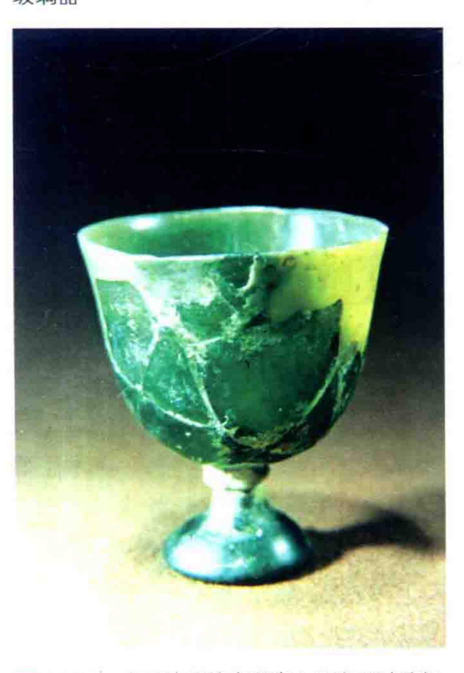


图14.15　广西钦州隋唐墓出土的高足玻璃杯

两晋以后的南方和西南地区的古代玻璃无论从数量或者类型来看，都不及黄河和长江中下游地区的繁缛多样，特别是玻璃器皿十分罕见。两晋以后玻璃的制造技术，由于大多数玻璃都是从国外进口，因此，国产的玻璃发现甚少，因而对国产玻璃的制造技术也就很难做出正确判断，也只能依据文献的记载和考古材料来做一个初步的推测。

14.4 古代玻璃的制造技术

对于南方和西南地区古代玻璃的制造方法,因为没有发现古代玻璃的制造作坊和生产工具,史书对此也无一文字记载,所以只能对实物本身进行观察分析。因此,对这一地区古代玻璃技术的描述也就没有更多的依据作证。但从古代玻璃本身的造型,可窥见其制造过程的大致情况,因为每一件玻璃制品,本身所存在的形制结构、器表装饰、铸造痕迹、附加结构、花纹技法等方面的情况,都是一部制造工艺的无字记录。对于中国古代玻璃的制造、使用等方面情况,史书也有所记载,至今民间也还保留有原始的生产玻璃方法。因此,可以从考古学、民族学、文献学等方面考究已失传了的古老技术。

根据古文献记载(详见本书第8章),古代制造玻璃是以"石"为原料,而不是以"土"为原料。同时反映了不仅是一种"石",而是五种石,并加以"炼之",而关于这五种石都是哪些"石"矿,史书没有更多的说明,只有宋代赵汝适于《诸番志》中说,中国炼玻璃的原料有铅、硝、石膏等。明代颜神镇玻璃制造厂就以石英矿、方解石、砩石、硝、铜、铁丹、铅等为原料制造各种各样的玻璃,而且对玻璃原料着色剂进行增减而达到所需要的颜色。由此可见,石英矿等是制造玻璃的主要原料,而这种矿料在南方地区是比较多的,如广西合浦、北流、容县等地有丰富的石英、方解石等制造玻璃所需要的矿石。

魏晋以后,中国玻璃工业进入一个新的时代,这就是大量的国外玻璃制品和玻璃技术进入中国,特别是吹制玻璃技术的发展,使玻璃制作技术达到新的境地,"既成,光泽乃美于西方来者,乃诏为行殿,容百余人,光色映彻,观者见之,莫不惊骇,以为神明所作"。这是凡谈到玻璃制造技术者,都会引用的《魏书》中这段经典记载。虽然说是大月氏商贩在京师,能铸石为五色琉璃,但采用的是中国矿料在"京师铸之"。这不仅说明了大月氏人引进玻璃技术到中国来,而且从另一个角度反映了当地对玻璃制品的需求和认识。技术引来了就有学技术的可能,有了技能就有自我发展的前景。安家瑶对河北定县北魏塔基石函中出土的一批玻璃器进行了研究,认为这批采用无模吹制技术的玻璃钵、瓶等,"都是中国的传统器形","它采用了当时较先进的工艺,但可以看出掌握得并不成熟,器形简单而且不规整,玻璃含有密集的气泡,与同时期的西亚玻璃产品有较大的差距"[20]。关善明对一个定县塔墓出土的长颈葫芦形瓶进行了化学分析,不含钡,含钾,小量钙、铅、铁、锡、铅等,与隋唐时期常见的钠钙玻璃相似。广东发现的东晋玻璃圆底罐与江苏南京仙鹤观第6号晋墓出土的同类器物十分相似,被认为是舶来之品,但从玻璃珠来看,其造型、色泽与两汉玻璃珠相差无几,因此,其制造技术当为汉之延续。

隋唐时期,玻璃制造技术也是吹制技术的再发展,钦州出土的高铅玻璃杯,正是隋唐吹制技术的缩影。《隋书·何稠传》记载,"时中国久绝琉璃之作,匠中无敢厝意,稠以绿瓷为之,与真不异"。当然学术界对何稠是造"玻璃"还是造"绿瓷"观点不一,但有一点值得考究,玻璃器在隋代确实被皇室所赏识,不然,皇帝不会命"稠为之"。"隋代虽然仅存在37年,却出土了六批十四件国产玻璃器皿"[20]。从这些器物看,属于无模吹制玻璃。唐李泰墓出土的黄玻璃瓶,也是无模自由吹制玻璃,经测试,含氧化铅高达64%,与广西钦州隋唐玻璃杯氧化铅含量(高达62.1%),几乎相同,因此,隋唐时期,中国的玻璃制造技

术应该说有了新的发展，做出的玻璃器皿为世人喜爱，玻璃的用途和种类得到了广泛运用和发展。

两宋时期，玻璃的制造技术、配方等已被文人录入文献之中，如杜绾《云林石谱》曰，“西京洛河，水中出碎石，颇多青白，泊有五色斑斓，采其最白者，入铅和诸药可烧变假玉，成玻璃用之”[21]。这种青白的洛河石就是一种含氧化硅的矿砂，是制造玻璃的主要材料。宋人李诚在《营造法式》中说，“琉璃的配方，每黄丹三斤、用铜末三两、洛河石末一斤”。这种配方铸造出来的玻璃就是含铅量极高的铅玻璃。宋代苏东坡在《药玉盏》中说：“熔铅煮白石，作玉真自欺。琢削为酒杯，规摹定州瓷”。这是对宋代玻璃制造技术最直接、最形象的描述。

从玻璃珠、璧、耳珰等装饰品以及玻璃器皿来看，南方地区大量的玻璃制品都是采用模铸的，这与中国传统青铜器的制造方法有着异曲同工的形式。关善明收藏的一批战国至西汉玻璃模具（图 14.16），是我们了解中国早期玻璃制作工艺的最有力的证据。关善明依据这批模具对中国古代玻璃的制造工艺进行了推测，认为中国战国—汉代的玻璃制造大致采用了三种形式，即单面模压法、双面模压法和泥芯范铸法。对于关善明的推测，黄启善认为是有可能的。因为从玻璃珠、玻璃璧、玻璃印章等器物看，都是模压成型。当然，从汉代的玻璃珠来看，有大有小，有的小如米粒，是否采用模铸，值得研究。这些玻璃珠一眼望过去好像相同，但仔细观察，大小却有不同，其外观也不是很圆滑，甚至有的手摸还有棱角之感。因此，汉代的玻璃珠有可能采用如西方的“缠丝法”，即用铁棒缠玻璃绕径滚动模压成型。





图 14.16　关善明收藏的古代浇铸法制玻璃器的耐水陶土模具（a、b）

广西的古代玻璃器皿，也是采用模铸成型，而且对器物进行抛光打磨，表面、内面、底等留有较深的抛光打磨的旋转细圆纹。由于是模压成器，器物内气泡较多，器壁较厚。纹饰简单，没有如西方罗马玻璃那样附有高浮雕纹饰。前述广西发现的一件玻璃龟形佩饰器，四肢则采用了粘贴法。

因此，南方和西南地区的古代玻璃制造工艺大致有以下几种方法：

（1）手捏。这种制造方法主要用于釉砂之类的珠饰。如四川、重庆发现的釉砂珠、管饰，这些珠管形状大小不一，反映了手工的粗劣，而且都是先成型后入窑烧制，温度

800~1 000℃。

（2）模铸。有单面模压法和双面模压法，主要用于玻璃璧等器物的生产。

（3）泥芯模压法。主要用于耳珰等器物的制造。

（4）母范模铸法。主要用于狮坠、羊坠等工艺品的生产。

（5）铁棒吹制法。主要用于吹制玻璃器皿；广西出土的一件高足托盘玻璃杯，就是采用了吹制技术。

依据器物来推测，也只能知其一不知其二，局限性很大。尽管如此，对南方和西南地区古代玻璃的制造技术，黄启善大致有如下认识：

（1）南方和西南地区的先秦玻璃，我们发现的全部都是装饰品，而且最早年代的玻璃可达春秋晚期，尽管不能算上真正的玻璃，但它是中国玻璃业的始祖。从四川发现的几件釉砂珠、管饰看，其加工大致经过了成型、烧制、修整等环节。到战国时期，先熔融后成型技术得以发明，制造出了真正的玻璃珠、管、耳珰、璧等器物，这些器物都是采用压模技术来铸造，而且由于加入了大量铅助熔剂，大大降低了熔融温度，一般800~1 000℃就可以。这些石英矿砂，加了石灰粉、铅矿、三氧化二铁、氧化铜、氧化铅等，使玻璃易熔，窑炉简易，操作简单，而且可以附近盛产树木、稻草、煤等作为燃料，成本低，产量高。

（2）制品压模成型后，即拆模具，这些模具大都是陶质，一次性使用。如装饰品耳珰等，都要经磨平、刨光等，当然要达到漂亮、顶级产品，还要靠工匠们的细心和娴熟的双手。

（3）通过对这些地区古代玻璃的分析研究，注意到最早期时，制造玻璃过程中烧制工艺技术、压模与拆模后加工等，有很多地方与制铜的流程是相同的。不同的是，制铜原料熔化后，工匠可以将液体倒入模型中，而对于制造玻璃，工匠们要用导管按器物大小要求定量导出液体后压模。

（4）大约从4世纪开始，玻璃物品除采用压模技术生产以外，还出现了吹制玻璃，玻璃器壁开始由厚变薄，透明度高。这种无模吹制技术的提高，更大程度地降低了玻璃成本，使玻璃逐步成为人们生活的日用品。

当然，中国古代玻璃制造技术发展过程中，不排除对国外技术的浸透和借鉴，也不排除有外来产品。在中国出土的古代玻璃中，既有国产也有外来进口产品，要区分国产与进口产品，还需要更多的考古调查和发掘材料的补充。特别是中国西南地区，战国时期不仅与国外有交往，在国内凭着长江的有利通道，与楚国有十分密切的联系，而楚国的两湖地区是楚玻璃主要生产地。在四川、重庆发现的玻璃珠、玻璃印章、玻璃璧等，都与楚国玻璃十分相似。因此，四川、重庆等地的早期古代玻璃，可能一是从通往国外的西北部丝绸之路进入，二是从楚国向巴蜀地区输入。当然也有一些器物，在楚国和国外也未找到与其类似的东西，如四川理县佳山的玻璃珠，不仅化学成分与国外不同，与国内也有所不同，其化学成分都与当地所产的矿物有关。两广地区所发现的玻璃，地方特色浓厚，如玻璃璧、玻璃珠、玻璃带钩、玻璃耳珰等，都是仿自中华民族特有的器物。两汉以后，南方和西南地区的古代玻璃虽然逐步减少，甚至有的烧制技术失传，但也有新的制品出现，所发现的玻璃珠、玻璃耳珰独具特色，如在贵州清镇芦荻出土的六朝耳珰。贵州发现的宋代梅花形玻璃制品，在国内外也很少见。广东发现的东晋圆底玻璃罐和广西钦州出土的隋

唐高足玻璃杯，在这些地区是孤品。钦州隋唐高足杯含PbO 62.1%，属于高铅玻璃，这种高铅玻璃的来源值得进一步研究。

玻璃是一种用途十分广泛的无机非金属材料，在当今的人类社会生活中仍然占有重要的地位。距今5 000多年前两河流域和地中海沿岸成为古代世界最早生产玻璃制品的地区，正是因为这样，有人对中国古代玻璃的来源、对南方地区玻璃的发展，持一种怀疑的态度，认为这些都是从西方输入的外来品。自从“自创说”创立以来[22-23]，人们开始对中国古代玻璃的来源重新审视，寻求中国玻璃自创的源泉与技术。分析中国南方和西南地区的古代玻璃来源，我们仍然可以找到具有中国自制的特点，它们有可能在当地自制，或者是在附近的省份制造。从河南、陕西、四川等地出土的玻璃看，中国的古代玻璃制造业可追溯到更远的西周时期，已具有数千年的悠久历史。特别是两汉时期，南方地区的玻璃制造业已有了较大的发展，不仅继续生产玻璃璧、珠等先秦常见礼制品和装饰品，而且还生产出日用玻璃器皿以及建筑用的平板玻璃等，扩大了玻璃制造业的规模，增加了产品种类，拓宽了玻璃用途。正如英国著名学者李约瑟所说，“中国最早的玻璃可推到春秋和战国时期，后汉以后有可能出现透明玻璃和吹制技术，汉代钾玻璃的出现正是中国玻璃发展的一场技术革新，它逐步淘汰传统的低温玻璃，生产出耐高温的玻璃，它逐渐在着色、透明度等方面制造工艺推陈出新，逐渐脱离传统的模铸技术，向吹制技术发展”。

参考文献

[1] 西藏自治区文管会文物普查队．西藏山南隆子县石棺墓的调查与清理[J]. 考古，1994(7)：600-606.
[2] 史美光，何欧里，周福征．一批中国汉墓出土钾玻璃研究[J]. 硅酸盐学报，1986，14(3)：307-313.
[3] 张福康，程珠海，张志刚．中国古琉璃的研究[J]. 硅酸盐学报，1983，11(1)：67-75.
[4] 关善明．中国古代玻璃[M]. 香港：香港中文大学文物馆，2001.
[5] 孙华．巴蜀符号初论[J]. 四川文物，1984(1)：25-28.
[6] 王云湘．巴蜀微识研究[C]// 中国考古学会．中国考古学会第七次年会论文集．北京：文物出版社，1989：213-235.
[7] 李学勤．论新都出土的蜀国青铜器[J]. 文物，1982(1)：38-43.
[8] 何元粲．巴蜀印章与古代商旅[J]. 四川文物，1990(2)：16-21.
[9] 刘豫川．巴蜀符号印章的初步研究[J]. 文物，1987(10)：86-93.
[10] 邱立诚．广东发现的古代玻璃器[C]// 干福熹．中国南方古玻璃研究：2002年南宁中国南方古玻璃研讨会论文集．上海：上海科学技术出版社，2003.
[11] 后德俊．谈我国古代玻璃的几个问题[C]// 干福熹．中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集．北京：中国建筑工业出版社，1986：59-64.
[12] 重庆市文物局，重庆市移民局．重庆库区考古报告集：巫山麦沱古墓群第二次发掘报告[M]. 北京：科学出版社，2003.
[13] 广州市文物管理委员会，中国社会科学院考古研究所，广东省博物馆．西汉南越王墓[M]. 北京：文物出版社，1991：134-251，423-426.
[14] 李银德．徐州发现一批重要西汉玻璃器[J]. 东南文化，1990(1)：109-111.
[15] 王俊新，李平，张巽，等．广西合浦堂排西汉古玻璃的铅同位素示踪研究[J]. 核技术，1994，17(8)：

499-502.

[16] 黄启善.广西古代玻璃制品的发现及其研究[J].考古,1988(3):264-276.

[17] 黄启善.广西古代玻璃的研究[C]//干福熹.中国南方古玻璃研究:2002年南宁中国南方古玻璃研讨会论文集.上海:上海科学技术出版社,2003.

[18] 李青会.一批中国南方出土古玻璃的化学成分的PIXE分析结果[C]//干福熹.中国南方古玻璃研究:2002年南宁中国南方古玻璃研讨会论文集.上海:上海科学技术出版社,2003.

[19] 阿坝藏族自治州文管所,理县文化馆.四川理县佳山石棺葬发掘清理报告[J].南方民族考古,1987(1):211-236.

[20] 安家瑶.中国的早期(西汉—北宋)玻璃器皿[C]//干福熹.中国古玻璃研究:1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京:中国建筑工业出版社,1986:86-104.

[21] 杜绾.云林石谱[M].四库全书影印.上海:上海古籍出版社,1987:45-55.

[22] 干福熹,黄振发,肖炳荣.我国古代玻璃的起源问题[J].硅酸盐学报,1978,6(1/2):99-104.

[23] 杨伯达.关于我国古代玻璃史研究的几个问题[J].文物,1979(5):76-78.

第15章　中国古代瓷釉技术的形成和发展

李家治　吴　隽

中国陶瓷的发展过程蕴藏着十分丰富的科学技术和艺术内涵。自从3 000多年前的商、周时代在中华大地上出现了原始瓷釉，经过制陶大师们的不断创造发明，使中国瓷釉异彩纷呈，更加体现了科学技术和艺术结合相得益彰的无穷魅力。中国不仅是世界上最早发明高温釉的国家，而且也是创造科学技术和艺术内涵最为丰富的瓷釉的国家之一。

釉是一种非晶态物质。它和玻璃在物质结构与物理化学性能上没有本质上的区别，只是因为它是以薄层形式附着在陶器或瓷器的内外表面上才被称为釉。正是由于这个缘故，釉和玻璃的制备工艺才有了很大的不同。釉基本上是以天然原料先配制成釉浆，然后施于陶或瓷坯上，在陶或瓷的烧制过程中形成薄层玻璃态物质。釉的形成取决于两个主要因素：一是作为釉的物质基础，即它所用的原料和与之相对应的化学组成；二是作为釉的形成的必要条件，即它的烧成温度，两者缺一不可。

15.1　夏末及商代早期以前——釉的孕育阶段

新石器时期的制陶者为了克服陶器表面粗糙、易吸水、易沾污的缺点以及增加美观和实用的要求，曾用过很多方法，其中包括在陶器表面加涂一层涂层，即所谓“陶衣”（图15.1a）。相关研究资料表明，这种陶衣的所用原料或是完全不同于陶器胎体的原料，或是通过对陶器胎体原料的进一步加工和选择（如更为细腻、可塑性更强等），以红、黑等色为最普遍，以使陶器更加美观和实用。图15.2呈现了仰韶文化人面纹网纹彩陶盆，有的还在陶衣上进行进一步的绘画以达到更好的装饰效果。一般来说，相对于陶胎的元素组成而言，陶衣的一个特点就是其Fe_2O_3的含量较高，而K_2O、Na_2O等碱金属氧化物和CaO、MgO等碱土金属氧化物的含量较低（表15.1），但在陶器普遍较低的烧成温度下（~800℃或更低[1-2]），这样的组成和配方难以熔融成釉。

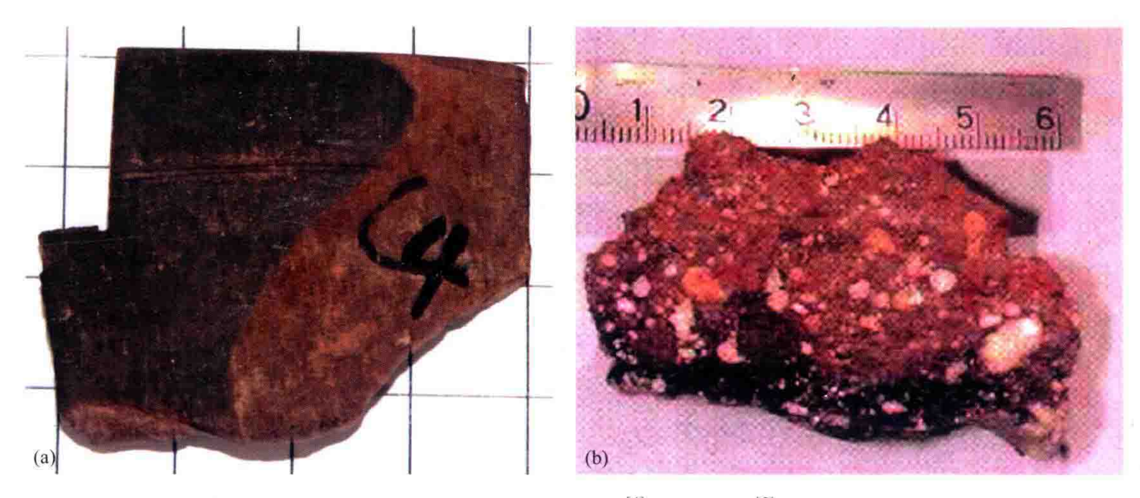


图 15.1　中国古代的陶衣[4]（a）和窑汗[5]（b）



图 15.2　仰韶文化人面纹网纹彩陶盆（陕西西安半坡出土）

表 15.1　中国湖北、江西、浙江等地部分“陶衣”和“窑汗”标本的化学组成

标本名称	样品数量		Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	MnO	P_2O_5
陶衣	14	均值(%)	0.48	0.95	17.99	69.84	1.82	0.92	0.72	7.08	0.10	0.19
		标准差	0.33	0.42	1.13	2.34	0.77	0.47	0.57	2.73	0.12	0.07
泥釉	9	均值(%)	0.87	1.44	21.47	59.67	4.36	1.73	1.32	6.66	0.09	0.08
		标准差	0.28	0.83	4.37	7.75	0.29	1.49	0.23	3.08	0.06	0.16
窑汗	5	均值(%)	0.28	3.05	13.13	65.88	5.35	6.24	0.75	3.35	1.32	0.91
		标准差	0.10	1.45	2.43	9.31	1.40	4.95	0.33	0.96	1.12	0.63

在商代前后，中国浙江、福建等地又发现了一种泥釉黑陶。如浙江江山南区出土的一批泥釉黑陶[3]，泥釉含有较高的 Al_2O_3 和 Fe_2O_3。其他助熔剂的总含量虽较陶衣为高，但在当时所能达到的温度下未能使它熔融成透明的玻璃釉。这种泥釉在外观上为黑色，表面粗糙，无光，有吸水性，极易剥落。在显微结构上，其中含有很多铁的氧化物晶体和残留石英，因此它

还不是真正意义上的釉。

不难发现,“陶衣”“泥釉”在工艺形式上和后期中国出现的陶瓷釉非常相似,其出发点都是古代陶工们在长期的陶瓷生产过程中,为改善外观和使用功能的目的,通过选用不同的原料和原料的进一步加工处理方法,在陶器胎体表面进行薄层覆盖,通过这种表层的处理以达到装饰和功能改善的效果。

“窑汗”的产生则是陶瓷制品在窑内烧制的过程中,由于柴草燃烧所形成的柴灰飘落在制品或窑壁上,这些含有较高熔剂元素氧化物的柴灰在高温下和制品或窑壁的某一个部位产生了共熔,形成闪闪发光的很薄的玻璃态物质,被形象地称为“窑汗”(图 15.1b)。这些“窑汗”的特点是除了熔剂元素氧化物含量较高外,其 MnO_2 和 P_2O_5 的含量也相对较高(表 15.1)[6]。无疑,“窑汗”产生的前提首先是陶器制品的烧制已从原始的堆烧、无窑烧成发展到有窑烧成和有较高的窑烧温度,为柴灰能和窑壁共融形成玻璃态提供了必要的条件之一。相关研究资料表明[1],中国商代以前的陶窑都是平地堆烧、在地上挖穴而成,最初为横穴窑,后来又发展成竖穴窑,最高烧成温度不超过 1 000℃,所谓的“窑汗”现象几乎不可能出现;直至商代,古人开始在地面上建窑,窑室扩大,火焰流向为升焰式,此时所烧制的印纹硬陶,其最高烧成温度已可达 1 200℃,可观察到“窑汗”现象。也就是说窑汗的出现和中国陶瓷烧成技术的发展密切相关。

从表 15.1 中中国“陶衣”和“窑汗”标本的元素组成来看,都已经具备了在一定的温度下(1 200℃左右)熔融成釉的可能性,即具有较高的熔剂元素氧化物含量,同时从形式特点上,陶衣和后期釉的工艺形式(覆盖坯体的薄层、细腻的原料处理等)已非常接近,而“窑汗”则从物相特点上,已经是可供直接借鉴的玻璃态物质了,“陶衣”“泥釉”的工艺处理形式和“窑汗”的材质效果相结合,为中国早期釉的发明提供了完整的思路和打下了扎实的基础。

15.2 商、周时期——釉的形成阶段

商、周时期是原始瓷出现和发展的时期,也是从陶到瓷的过渡时期(图 15.3a)。釉的出现和使用是中国陶瓷工艺发展过程中三大技术突破之一。原始瓷的成型和装饰基本上继承

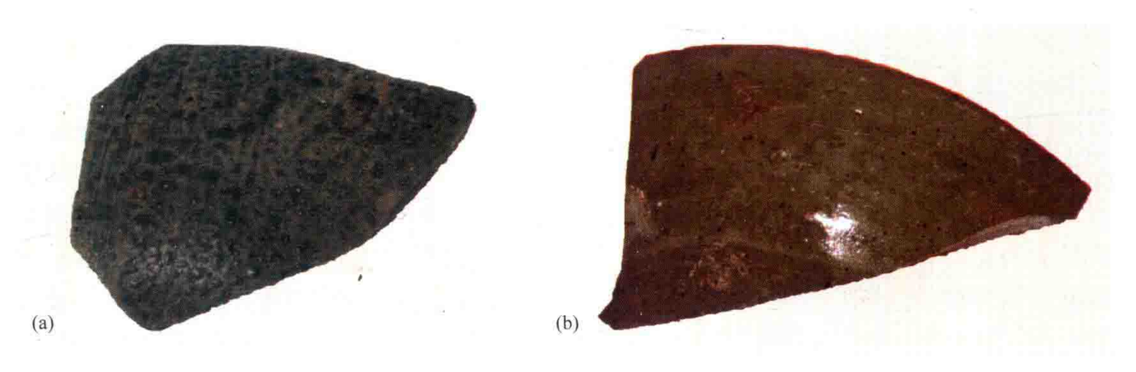


图 15.3 中国典型商周时期原始瓷(a)及东汉时期越窑青瓷(b)的外观照片

了印纹硬陶的成型方法，有别于前期陶器的一个最主要的特点是，原始瓷在胎体的表面施有一层透明釉，其施釉方法比较原始，多为涂刷和浸釉两种。烧成工艺也和印纹硬陶相同，有时甚至在同一窑中烧成，烧成温度可达1 200℃[1]。这些标本表面具有一层较薄且不均匀的玻璃态物质，和胎体的结合度较差，易于剥落，这是迄今为止所发现的中国最早的陶瓷釉标本之一[7]。

总体来说，迄今为止，中国所发现的早期原始瓷釉都属于高温釉，烧成温度大多在1 200℃左右。表15.2列出了中国具有代表性的浙江、江西等地出土的中国早期原始瓷标本釉化学组成的均值和标准差。按照所含助熔剂种类的不同，中国具有代表性的浙江与江西等地出土的早期原始瓷釉可以大体分成两类（图15.4），一类是以CaO为主要助熔剂，其含量一般在10%以上，K_2O、Fe_2O_3等含量相对较低，基本在2%以下；而另一类则Fe_2O_3、K_2O含量大为提高，其含量一般都高于5%，同时CaO含量较低，在5%以下。显然，这两类陶瓷釉在配方上具有明显不同的元素组成模式和特点。

表15.2 中国浙江、江西等地相关遗址出土的早期典型原始瓷釉的主、次量元素组成

产地	样品数量		Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	MnO	P_2O_5
浙江德清	43	均值(%)	0.78	2.83	11.97	64.68	2.11	14.56	0.41	1.67	0.25	0.47
		标准差	0.44	0.74	1.06	3.27	0.67	4.67	0.08	0.48	0.11	0.16
浙江萧山	17	均值(%)	1.24	1.72	14.11	70.76	4.19	4.66	0.40	1.93	0.09	0.19
		标准差	0.37	0.40	1.10	2.31	2.03	2.70	0.05	0.45	0.05	0.08
江西鹰潭	8	均值(%)	0.48	1.76	17.32	61.68	5.91	4.87	1.38	6.12	0.12	0.26
		标准差	0.15	0.09	0.47	0.13	1.41	3.41	0.49	3.57	0.08	0.06
江西清江	9	均值(%)	0.68	2.01	14.70	64.05	5.12	6.50	1.16	5.21	0.34	0.29
		标准差	0.36	0.90	4.17	6.24	2.25	5.11	0.55	2.67	0.31	0.24

为什么中国早期的原始瓷釉会出现两种不同类型的配方组成，这是进行中国瓷釉起源研究无法回避的一个问题。从早期原始瓷釉标本的元素组成分析结果（表15.2）来看，第一种类型的原始瓷釉，即以CaO为主要助熔剂的瓷釉，其锰、磷的含量相对较高（两者含量之和一般大于0.4%），而一般高钙矿物如石灰石等的使用不会提高瓷釉中的锰、磷含量（一般小于0.1%）。实际上，在基本都用柴烧窑的中国南方，草木灰量多而且易得，因此样品釉中的高钙则很可能是受“窑汗”现象所启迪，在配方中使用了含高锰、磷的草木灰所引入[6]。而第二种类型的原始瓷釉，尽管釉中仍含有一定浓度的CaO含量，但Fe_2O_3和K_2O含量大为提高，同时瓷釉中的锰、磷含量也比第一种类型的原始瓷釉低得多，因此第二种类型原始瓷釉中的钙含量以草木灰形式引入的可能性不大，不难发现，这种类型陶瓷釉的成分与一些早期陶器的陶衣组成非常相似（图15.5），这种高度的相似性说明，这类原始瓷釉的配方同古代陶工长期使用当地存在的富铁黏土作为“陶衣”具有密切的关系。此外，

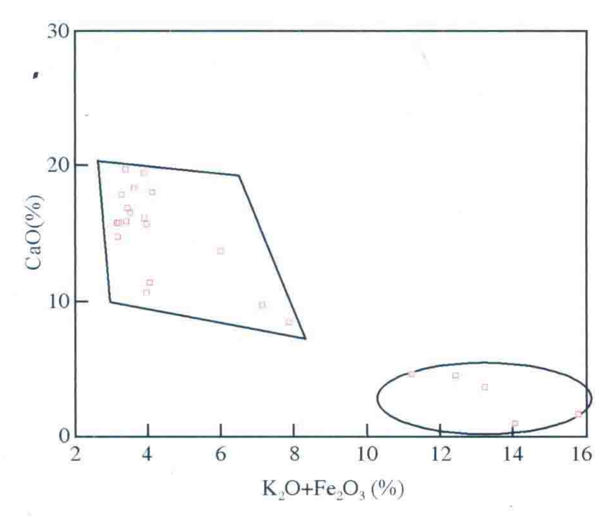


图 15.4 中国浙江与江西部分典型原始瓷标本釉中 CaO 和 $K_2O+Fe_2O_3$ 含量的二维散点图

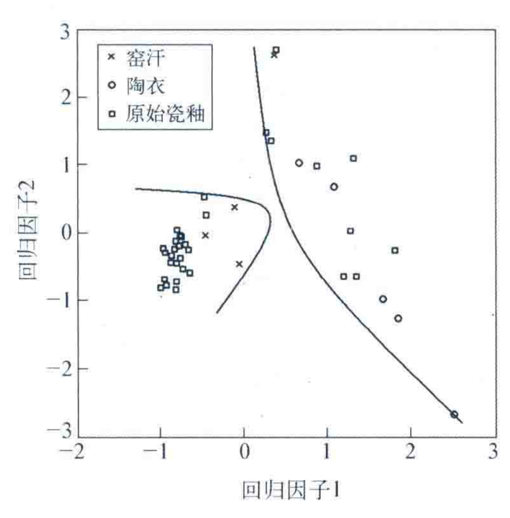


图 15.5 中国早期典型原始瓷釉与陶衣、窑汗元素组成的二维因子散点图

这两种类型的原始瓷釉的装饰效果也大不相同，相对而言，高钙釉的透明度较高，而高铁釉颜色较深、遮盖能力较强，对于不同的胎体和不同的装饰效果追求，应该说各有特点和功能。实际上，这两种类型原始瓷釉的同时存在也从一个侧面说明了中国瓷釉的发明同“陶衣”“窑汗”的继承关系，而不同类型的原始瓷釉配方的形成同当地的自然资源（制陶原料和燃料等）密切相关。

除了釉的配方外，高温技术的提高是原始瓷釉得以烧制成功的核心要素，实际上，窑炉技术的改进被认为是中国古陶瓷的科技发展史中三大技术突破之一和主要的推动力量之一。至商代，中国陶瓷工艺史上出现了第一次高温技术的突破，即印纹硬陶的烧成温度达到了最高 1 200℃左右、平均 1 080℃，比前期陶器的烧成温度提高了近 200℃ [1]。这为釉的形成提供了不可或缺的工艺基础。显然，只有在高温条件下，一些柴灰和陶器外表的陶衣才可能玻化熔融，而古代陶工们正是通过对这种高温所产生的现象和材质的长期观测和接触，认识到在陶瓷表面的玻璃态物质不仅具有装饰效果，而且还能增强器皿表面的耐磨性和易于清洁，并且由于釉的不透水性，更赋予了瓷器一种以前陶器所不能胜任的饮器功用。这种明显的效果提升和已逐步掌握的技术条件最终导致了中国瓷釉的发明，无疑，高温技术的突破是中国陶瓷釉发明的关键一环。图 15.6 显示的是商代青灰釉原始瓷樽。

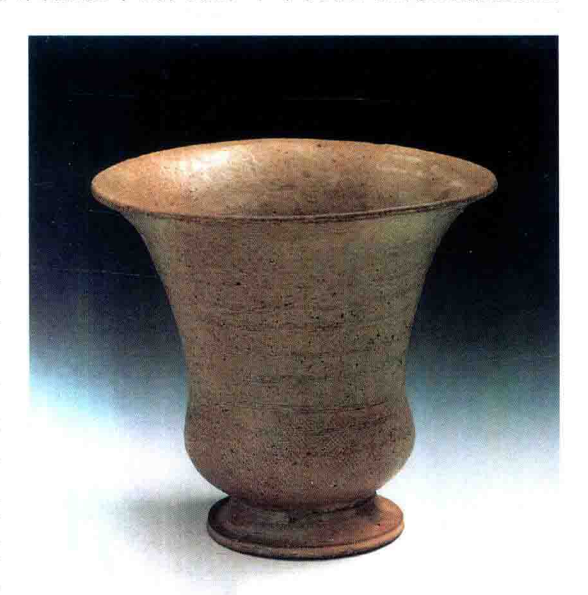


图 15.6 商代青灰釉原始瓷樽

15.3 汉代至五代——釉的成熟阶段

这一时期是自公元前206年到公元960年，包括汉、三国、晋、南北朝、隋、唐、五代等朝代。

中国原始瓷经过了近2 000年的发展，终在东汉（25—220）时期产生了阶段性的飞跃，成熟的瓷器——越窑青瓷（图15.3b）开始出现。作为成熟瓷器，其不同于中国原始瓷的一个突出标志就是瓷釉的质量以及与瓷胎的匹配性有了明显的提高。研究表明，尽管越窑青瓷釉在成分上与第一种类型原始瓷釉相似，同样是以CaO为主要助熔剂，其含量一般在14%~16%，个别可高达20%左右（表15.3），和原始瓷在原料配方上具有继承性，仍属于CaO（MgO）-K_2O（Na_2O）-Al_2O_3-SiO_2系的高温釉，但越窑青瓷的烧成温度已提高到1 200℃以上，高者可以达到1 300℃[1]，瓷釉中很少残留石英和其他结晶，釉泡大而少，一般较透明。瓷釉厚度一般在0.1~0.3 mm，薄厚较为均匀，胎釉匹配性较好，出现了较为明显的胎釉中间层，胎釉结合性提高，这与厚薄不均且易脱落的原始瓷釉相比，已显示出了巨大的进步（图15.7）。由于釉中2%左右的Fe_2O_3含量，以及一定量的TiO_2含量（一般小于1%），因此在不同的烧制气氛下呈现出灰黄色、灰青色或青色（图15.8）。

表15.3　东汉时期各地越窑青瓷釉主、次量元素组成[11]

产　地	样品数量		Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	MnO	P_2O_5
绍兴	8	均值（wt%）	0.90	2.34	13.69	62.06	1.87	14.56	0.76	2.30	0.32	0.77
		标准差	0.07	0.63	0.70	3.18	0.11	2.49	0.02	0.23	0.11	0.14
上虞	9	均值（wt%）	0.54	2.19	13.33	60.03	1.92	17.65	0.47	2.05	0.32	0.59
		标准差	0.13	0.57	0.66	2.37	0.11	2.41	0.43	0.59	0.28	0.51
上林湖	5	均值（wt%）	0.82	3.86	13.33	59.08	1.58	14.84	0.71	3.14	0.58	1.46
		标准差	0.03	2.05	0.38	2.48	0.27	0.68	0.06	1.55	0.20	0.66



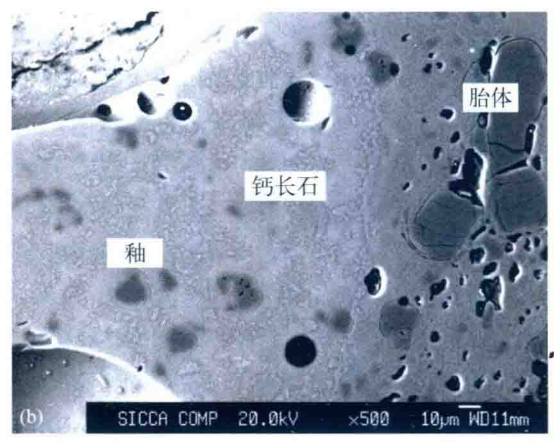
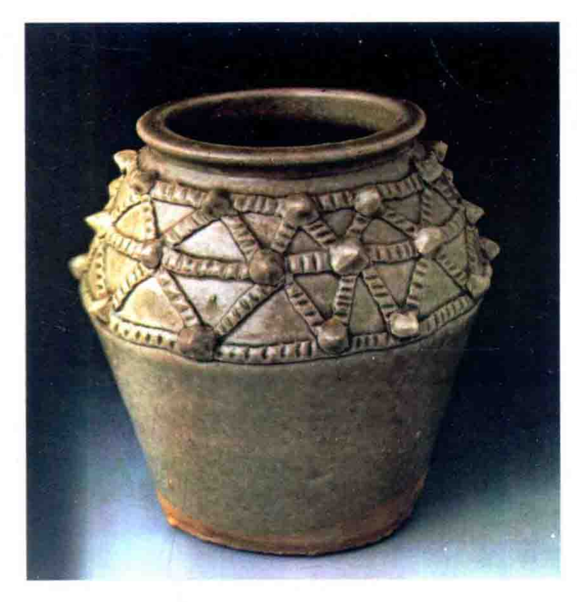


图15.7　中国早期典型原始瓷（a）与越窑青瓷（b）显微结构[3]



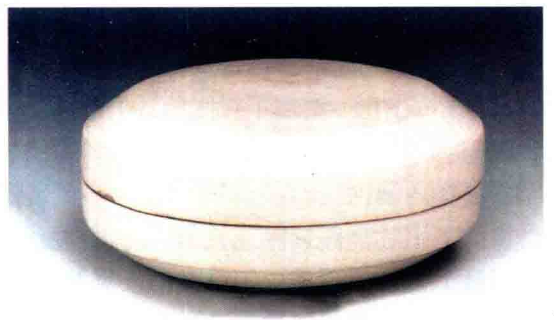


图 15.9　唐邢窑白釉瓷盒

图 15.8　东汉熹平四年（175 年）越窑网格纹青釉瓷罐

到了隋、唐、五代时期，在中国南、北方又出现了无色透明的白釉。例如隋唐时期河北的邢窑、河南的巩县窑以及五代时期江西景德镇窑都烧制了白釉瓷。图 15.9 显示了唐邢窑白釉瓷盒。这一进步不仅打破了中国青瓷一统天下的格局，形成了中国陶瓷历史上南青北白相互争艳的两大体系，而且在制瓷技术上取得了许多突破，为中国制瓷业的发展创造了非常重要的条件。白釉的出现是制瓷匠师们在长期实践中逐步认识到并尽可能避免使用使陶瓷胎釉着色的制瓷原料的结果，从而为后世的各种颜色釉瓷和彩绘瓷打下了良好的基础。另外，在过去的青釉瓷中所使用的助熔剂都是以 CaO 为主，但在隋唐白瓷釉的化学组成中，K_2O 的含量已大大增加而形成了钙碱釉，甚至是碱钙釉。这也是南方早期青釉瓷所从未有过的。有理由认为这些白釉的配方中可能使用了长石，而不是像南方那样使用釉灰加瓷石的配方。特别是这些白釉所使用的原料中 Fe_2O_3 的含量特别低，而使这些釉具有如银似雪的白色。

以上所说的不管是青釉、黑釉还是白釉都是透明的。一般在釉中只有极少量的残留石英和小气泡。但是到了隋唐时期，或者更早一点的南北朝时期，在中国南方又出现了乳浊釉。这种乳浊釉是由于在釉中发生了液相分离，其中一相成液滴状分布在连续相中。液滴的大小正处在亚微米级，接近可见光的波长范围，产生了散射乳浊效应，而使釉变得不透明。如南朝至唐代的福建怀安窑的乳浊青釉瓷[8]，河南鲁山段店、禹县下白峪等地的唐钧釉瓷，浙江金华婺州窑的乳浊釉瓷[9]，湖南长沙窑乳浊釉瓷以及四川邛崃窑乳浊釉瓷[10]等，都是利用分相而产生的乳浊效应而制成乳浊釉。图 15.10 为邛

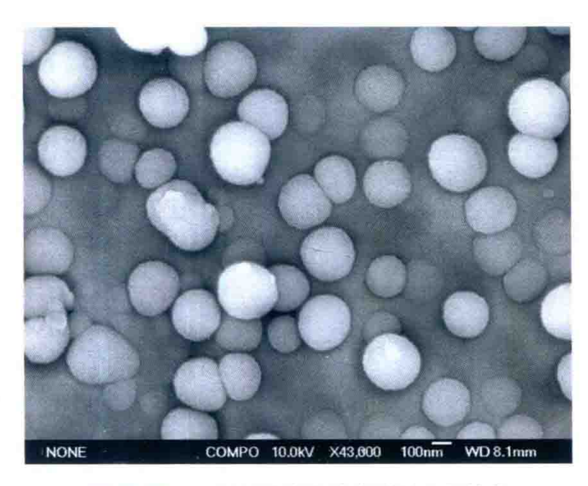


图 15.10　四川邛崃窑乳浊青釉的分相结构

峡窑乳浊青釉的场发射扫描电子显微镜(FESEM)所观察到的分相结构。釉内并不存在分散的微晶,引起光散射的是从釉的基质中分离出的大量亚微米级的球形不混溶液滴,部分液滴有聚结或粘连,增加了对光的散射效应。液滴的直径在0.1~0.4 μm,接近可见光的波长范围,产生散射乳浊现象,得到柔和莹润的乳浊釉面[10]。这些乳浊釉的出现不仅丰富了中国瓷釉的科学内涵,而且也为宋代出现的一代名瓷——钧釉瓷奠定了扎实的基础。

除了上述高温钙釉或钙碱釉外,中国北方在汉代又出现了以PbO作为主要熔剂的富铅低温釉。它的出现为中国瓷釉的发展开辟了第二个重要的釉系,为后世一系列低温色釉和彩料的不断出现和创新奠定了基础。在商代晚期中国已出现了以铜、锡、铅三元合金制造铜器,在秦汉时期炼丹术十分盛行,以及在战国时期已出现了含铅钡的硅酸盐玻璃,无论在上述哪一种实践的影响下都可能通过长期的认识的积累和实践的探索,为低温富铅釉的发明提供启发,从而在西汉时期制成以铜着色的绿釉陶,以及在隋唐时期制成分别以铁和钴着色的黄釉陶和蓝釉陶。这就是闻名于世的唐三彩以及随后的宋三彩和辽三彩等。

总之,这一阶段所出现的釉不仅表现在品种上的增多,而且也在科学内涵上更加丰富。不仅表现了本阶段的辉煌成就,而且也为下一阶段的发展创造了更加有利的条件。

15.4 宋代至清代——釉的发展阶段

在越窑青瓷出现1 000多年后,特别是在宋代以后,中国的高温瓷釉不断发展,虽然仍属于$CaO(MgO)-K_2O(Na_2O)-Al_2O_3-SiO_2$系的高温釉,但釉中CaO的含量有所降低,相应地,$K_2O$的含量逐步提高,属高温钙碱釉或碱钙釉。除透明釉外,还发明了在烧制过程中经复杂物理化学变化形成的析晶釉、分相釉和分相析晶釉。除了以Fe_2O_3着色的青釉还在继续发展提高之外,还出现了以Cu着色的红釉、以Co着色的蓝釉等,形成了丰富多彩的颜色釉瓷体系,为中国赢得了“瓷之国”的美誉。

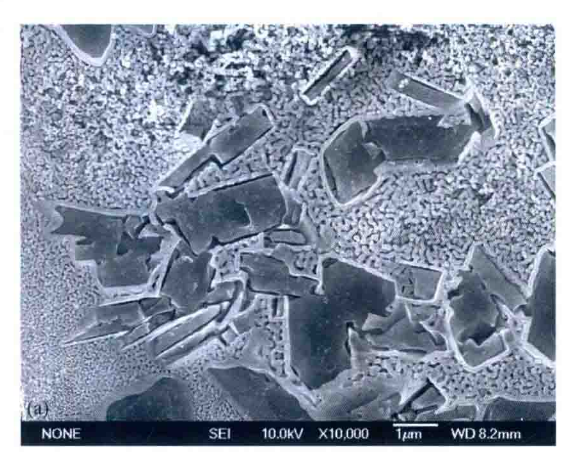


图15.11 南宋龙泉窑粉青釉凤耳瓷瓶

龙泉窑青瓷的青釉在继承越窑青釉的基础上,经过五代和北宋时期的探索改进,到了南宋,所烧制的青釉瓷无论在技术和艺术上都得到了很大的提高,受到海内外的高度重视。西方至今仍以雪拉同(celadon)称之。图15.11为南宋龙泉窑粉青釉凤耳瓷瓶。龙泉窑青釉在化学组成上最大的特点,就是降低了CaO的含量,增加了K_2O的含量,使其从越窑的高钙釉转变成钙碱釉或碱钙釉。在着色剂方面TiO_2的含量亦有所降低。龙泉窑青釉在化学组成上的变化,再加上在较强的还原气氛中烧成,使得它具有纯净的青色,一般称为粉青和梅子青。另外,由于龙泉窑青釉降低了CaO的含量和增加了K_2O的含量,使得釉的高温黏度增加,从而增加了釉的厚度和增强了釉的玉质感。尽管龙泉窑青釉具有以上这些

优点，但还是属于透明釉的范畴。釉中除含有少量残留石英和气泡外别无他物。

汝窑瓷釉和南宋官窑瓷釉都是以极强的玉质感而闻名于世，开创了析晶和分相共同作用的乳浊釉的先河，在世界瓷釉发展史上独领风骚。图 15.12 为南宋官窑（修内司官窑）瓷青釉的 FESEM 所观察到的显微结构。从图 15.12 可见，微米级钙长石微晶和亚微米级的分相结构遍布整个釉中，其分相形貌为互连结构。正是这些微小的晶体和分相对入射光的散射，使得南宋官窑瓷釉具有很强的玉质感。形成这种釉的显微结构，可能是在釉中首先析出钙长石的晶体，然后在剩余玻璃相中再进行分相。考虑到这类釉的析晶分相结构所形成的科学与艺术上的成就出现在距今 800 多年前的南宋初期，不禁令人惊叹中国古代的陶瓷大师们所创造的辉煌业绩。



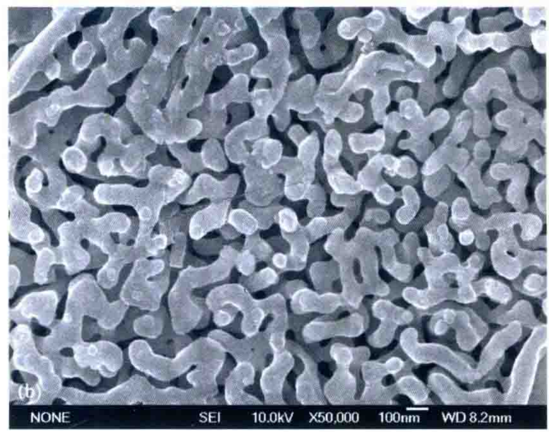


图 15.12 杭州老虎洞窑南宋地层（修内司官窑）出土瓷片的显微结构（a、b）

前文所提到的官窑和汝窑所烧制品的釉都是以 Fe_2O_3 为着色剂的乳浊青釉瓷。但北宋时期在河南禹县地区各个窑址，又出现了局部或全部以铜及其氧化物着色的带有红色斑纹或全部呈紫红色的釉。从不同角度观察，这些制品上往往呈现出鲜明的颜色变异的天蓝色散射光，从而成为一种典型的乳光釉。这是中国古代陶瓷大师们使用铜作为着色剂烧制成红釉的开始，为世界创造了一种新釉种，史称钧釉。由于这种釉受到化学组成、烧制时的温度和气氛以及整个工艺过程的多种因素的综合影响，使这种红如海棠、紫如玫瑰绚丽多彩的釉色千变万化，即使在同一窑中所烧出的制品釉色也很难相同，故又被称为窑变釉。这就使得钧釉不仅给予人们一种美妙绝伦的视觉感受，而且还给予一种理念上的神秘感受。图 15.13 为金代钧釉瓷盘。研究发现，河南钧窑的钧釉是典型的分相釉。钧釉的 RO_2/R_2O_3 在 10.5 左右，在 $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 三元相图中落在了分相釉的范围之内。因而在烧制过程中形成液相分离，其中一相形成的液滴直径介于 55~116 nm 之间，符合瑞利散射的要求，从而使



图 15.13 金代钧釉瓷盘

得钧釉呈现蓝色乳光。

由于宋代斗茶之风大盛，各窑场都生产斗茶用的黑釉碗。在这种大环境的影响下，福建建阳地区和江西吉州地区应运而生地烧制出许多艺术水平高超和技术内涵非常丰富的黑釉瓷。较之前南北各窑所生产的黑釉瓷有了质的飞跃，达到了一个高峰。建阳窑烧制出带有兔毫纹、油滴状、鹧鸪斑和玳瑁斑的黑釉盏；吉州窑除烧制与建阳窑相同的品种外，又增加了在黑釉上的装饰如木叶纹、剪纸贴花纹等。建阳窑黑釉瓷的胎和釉中都含有较高的Fe_2O_3，一般在5%以上，高者竟接近10%。在还原气氛中烧成后，成为真正的黑胎黑釉瓷。这也是中国其他窑厂所少见的。建阳黑釉瓷以带有兔毫纹为大宗，其他纹样则比较少见。兔毫纹是由于建阳黑釉一般都比较厚，在烧制过程中由于釉自上而下流动而形成。兔毫纹的呈色有金色、黄色、银色和灰色等，分别被称为金兔毫、黄兔毫、银兔毫、灰兔毫等，虽然兔毫釉也是一种分相结晶釉，但它们较前面所提到的那些釉要复杂得多。经过对它们显微结构的研究，可阐述它们复杂的形成机理。它们是在黑釉中首先析出钙长石微针晶。在析晶的过程中由于晶体的自身净化作用而将氧化铁排到晶间周围的液相中。黑釉本身就是含氧化铁很高的熔体，再加上这些被排出的氧化铁，使得晶间熔体中的氧化铁含量更高而具有很高的液相分离趋向。分相结构两相中的富氧化铁的一相就会析出氧化铁晶体。根据烧成气氛而析出赤铁矿（Fe_2O_3）晶体或磁铁矿（Fe_3O_4）晶体，如果这些晶体杂乱无章聚积在兔毫条纹中，前者即形成黄兔毫，后者即形成灰兔毫；如果这些晶体有序地排列、平行并处于兔毫的表面，由于对光呈镜面反射，前者即形成金兔毫，后者即形成银兔毫。图15.14所示为建阳兔毫釉的钙长石晶束与晶间的液相分离以及氧化铁析晶的结构。但有时也会不经钙长石析晶，而在釉面附近局部形成富氧化铁微区。在氧化铁含量达到足够的浓度时也会发生液相分离，从而在富氧化铁的一相中析出Fe_2O_3或Fe_3O_4晶体。总之不管是哪种情况，兔毫的形成必须通过液相分离和分相后富氧化铁相内的析晶。图15.15为福建建阳窑黑釉瓷兔毫盏。

唐、宋以来这些名窑所制的名瓷，经过元、明两代几乎都停止烧制，甚至连窑址也湮没到无处可寻。但在江西景德镇，自五代开始，历经宋、元、明、清，逐渐兴盛起来。它不仅可

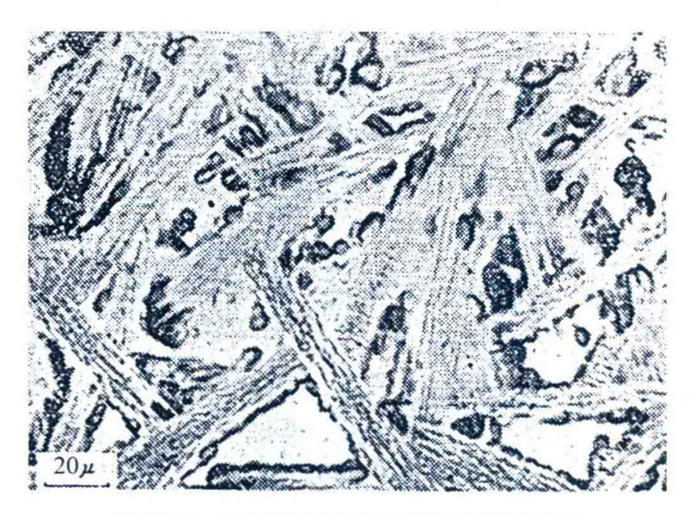


图15.14　福建建阳窑黑釉瓷兔毫釉的显微结构



图15.15　福建建阳窑黑釉瓷兔毫盏

仿制历代各窑的名瓷，而且还创造了多色釉、单色釉、彩绘瓷等许多新品种釉，从而成为闻名于世的中国瓷都。其中如宋代湖田窑和元代枢府窑的影青釉瓷、明代永乐的甜白釉瓷、清代的各种红釉瓷、元代开始历经明清的长盛不衰的青花瓷和釉里红瓷，以及各种颜色的釉瓷和彩绘瓷等。

综上所述，中国瓷釉经过4 000多年前的新石器时代的孕育阶段，经3 000多年前商周时期的形成阶段和1 000多年前的汉至五代的成熟阶段，到了1 000年前左右的宋代到清代的提高阶段，使人们看到中国瓷釉一脉相承地从形成、成熟到提高的全过程。它不仅是艺术百花园中的一朵奇葩，而且也是科技王国中的一座宝库。英国的中国古陶瓷研究学者尼格·伍德（Nigel Wood）在他所著的*Chinese Glazes*（《中国瓷釉》）一书的简介中，即称中国瓷釉非凡的质量和色彩受到整个历史的赞美。它们对西方陶工一直是一个技术上的挑战[11]，这种表述很有代表性，它表达了整个世界对中国瓷的如痴如醉的爱好和赞美，也就是对中国瓷釉的爱好和赞美。事实上，在中国瓷釉整个发展过程中，无处不表现出它们辉煌卓越的成就。

参考文献

[1] 李家治.中国科学技术史：陶瓷卷[M].北京：科学出版社，1998：10–20.
[2] 王昌燧.早期陶器刍议[N].中国文物报，2005–11–11（7）.
[3] 李家治，邓泽群，牟永杭，等.浙江江山泥釉黑陶及原始瓷的研究[M]//中国科学院上海硅酸盐研究所.中国古陶瓷研究.北京：科学出版社，1987：56–63.
[4] 中国社会科学院考古研究所.四川汉源县麦坪村、麻家山遗址试掘简报[J].四川文物，2006（2）：3–19.
[5] 冯敏，等.繁昌窑青白瓷的初步研究[J].文物保护与考古科学，2004，16（3）：29–32.
[6] 张福康，等.中国传统高温釉的起源[M].中国科学院上海硅酸盐研究所.中国古陶瓷研究.科学出版社，1987：41–46.
[7] 罗宏杰，李家治，高力明.原始瓷釉的化学组成及显微结构研究[C].ISAC92，72–77.
[8] 陈显求，黄瑞福，陈士萍.公元六世纪出现的分相釉瓷——梁、唐怀安窑陶瓷的研究[J].硅酸盐学报，1986，14（2）：147–152.
[9] 李家治，陈显求，黄瑞福，等.唐、宋、元浙江婺州窑系分相釉的研究[J].无机材料学报，1986，1（3）：269–273.
[10] 李伟东，吴隽，李家治，等.四川邛崃窑青釉的研究——中国最早分相釉之一[C]//郭景坤.古陶瓷科学技术国际讨论会论文集5.上海科学技术文献出版社，2002：109–117.
[11] Wood N. Chinese Glazes [M]. Philadephia: University of Pennsylvania Press, 1999：17.

第16章　中国最早釉陶的科学研究

董俊卿　刘　松　夏晓伟　李青会

釉陶（glazed pottery）是古代东西方都比较流行的一种表面施釉的陶器。施釉除了具有装饰作用之外还可以保护胎体。西方釉陶有低温釉陶和高温釉陶两种，而中国釉陶则以低温釉陶为主。低温釉陶是中国陶瓷发展史上一项重要成果，汉代的明器釉陶、唐代的三彩釉陶以及明清时期的建筑釉陶是中国几种典型的低温釉陶。

自20世纪50年代以来，低温釉陶一直颇受国内外学者的关注。对中国低温釉陶的化学成分分析集中于20世纪八九十年代，此后报道较少。所分析的主要对象是唐三彩，而对早期釉陶涉及较少。张福康、李家治等对中国历代釉陶釉料的化学成分体系进行过系统归纳[1-2]，提出了自汉代开始中国自创铅釉的说法。

16.1　低温釉陶概述

始于西汉的低温釉陶属于铅釉体系，东汉时期得以繁荣发展，历经六朝，至唐代的三彩釉陶达到一个顶峰。事实上，在中国的春秋晚期至战国时期，手工业空前繁荣，陶瓷、玻璃、冶金等均得到全面发展，中国低温釉陶器也在这一时期初现端倪。在以往报道中，仅有少数战国时期的釉陶制品（表16.1），大多藏于国外的博物馆，如英国大英博物馆、美国波士顿艺术博物馆、美国纳尔逊艺术博物馆和日本东京国立博物馆的镶嵌蜻蜓眼釉陶罐和釉陶珠等。由于早期的釉陶都比较珍贵且容易破损，不允许取样分析，只能采用原位无损分析方法。故长期以来，除个别藏品做过有限的科技分析之外，鲜有考古发掘品的科技分析数据。为进一步探讨中国低温釉陶的起源和中国早期釉陶的体系，利用pXRF现代无损分析方法，对在中国江苏无锡出土的一批战国时期典型的釉陶器进行了现场原位无损分析。

表 16.1　中国早期的低温釉陶器简况

器　名	数量	现所藏地点	年　代	出土地点	文　献
透明釉陶容器	1	美国纳尔逊艺术博物馆	战国晚期	河南洛阳金村	[3]
玻璃料镶嵌罐	1	美国纳尔逊艺术博物馆	战国晚期		[3]
釉陶罐	1	美国波士顿艺术博物馆			[3]
釉陶罐	1	英国大英博物馆	战国晚期	河南浚县	[3]
玻璃料镶嵌釉陶罐	1	日本东京国立博物馆	战国		[3]
多彩釉硬陶琉璃珠	1	英国,尼格·伍德	战国		[4]
硬陶蜻蜓眼琉璃珠	4	日本			[4]
蜻蜓眼釉陶珠	1	河南省文物商店	战国		
釉陶璜	1	湖北省博物馆	战国早期	湖北江陵九店	[5]
红胎白釉蜻蜓眼釉陶珠	1	湖北省博物馆	战国中晚期	湖北江陵九店	[5]
灰胎蓝釉蜻蜓眼釉陶珠	1	湖北省博物馆		湖北江陵九店	[5]
陶胎涂多彩蜻蜓眼玻璃珠	41	香港,关善明	战国		[6]
陶胎堆多彩玻璃勾连纹珠	5	香港,关善明	战国		[6]

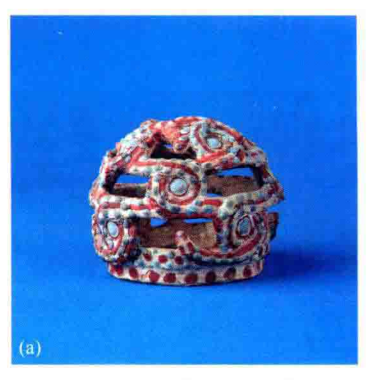
16.2　样品和分析方法

江苏无锡鸿山越墓群的邱承墩贵族墓出土了几件战国早期的釉陶器,除蜻蜓眼釉陶珠外,还有四件彩绘琉璃釉陶器,发掘报告称之为“琉璃釉盘蛇玲珑球形器”,认为是“最为罕见的越国礼器,可能为象征王权、神权的法器或神器”。胎体为泥质灰白陶,球形,中空,下部为矮圈足,球身由八条蛇组成,蛇身盘成圆圈状,一蛇的口衔另一蛇,形成玲珑球状,蛇头和蛇身饰点状蓝色琉璃釉,并以红彩相间[7]。此次选取无锡市鸿山遗址博物馆所藏的一件琉璃釉盘蛇玲珑球形器和三件蜻蜓眼釉陶珠进行原位无损分析。表 16.2 列举了此次分析的样品情况,样品照片见图 16.1。

表 16.2　无锡鸿山邱承墩遗址出土战国时期釉陶样品情况

样品编号	名　称	描　述
HSB-1	彩绘琉璃釉陶器	泥质灰陶,外表点状蓝色釉,并以红彩相间
HSB 147-1	蜻蜓眼釉陶珠	内部有白色芯层,表层为绿色玻璃态釉质;眼珠有缺失,眼部有褐、白、绿三色
HSB 147-2	蜻蜓眼釉陶珠	内部有白色芯层,表层为绿色玻璃态釉质;眼珠缺失
HSB 147-5	蜻蜓眼釉陶珠	残,风化严重,眼部为白、绿双色

pXRF 分析采用的是中国科学院上海光学精密机械研究所科技考古中心(以下简称科技考古中心)研究改装过的日本产 OURSTEX 100FA 便携式能量色散型 X 射线荧光光谱



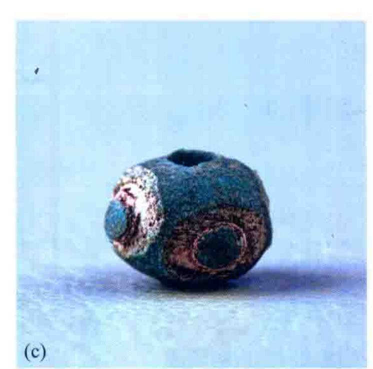
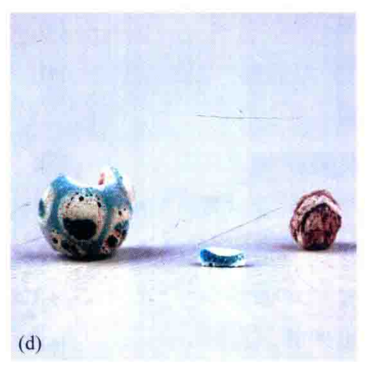
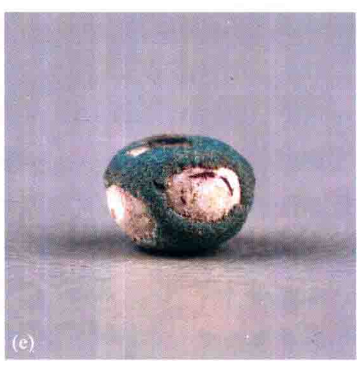




图16.1 无锡鸿山邱承墩遗址出土的战国时期釉陶器照片

(a)、(b)彩绘琉璃釉陶器正视和底部侧视;(c)蜻蜓眼釉陶珠HSB 147-1;(d)蜻蜓眼釉陶珠HSB 147-2;(e)蜻蜓眼釉陶珠HSB 147-5

仪。本台谱仪的靶材为钯元素(Pd),X射线管的激发电压为40 kV或15 kV,电流为0.5 mA或1.0 mA,最大功率为50 W,X射线焦斑直径约为2.5 mm。谱仪主要由四个部分组成,分别是测量部、X射线源高压单元、样品腔和数据处理单元。X射线源高压单元主要是用来产生X射线源所需的高压,数据处理单元主要包括控制仪器运转的控制软件及进行定性、定量分析的软件。专门针对轻元素的探测,使用了硅漂移的SDD探测器,能谱分辨率为145 eV。为了减少大气对于轻元素特征谱线的吸收,本台谱仪还配备了真空泵,最低气压为400~600 Pa[8]。根据样品体积大小,选取不同测量环境,进行原位无损分析。

16.3 分析结果和讨论

这件彩绘琉璃釉盘蛇玲珑球形器是首批采用pXRF大气环境分析的古代珍贵样品之一,分析结果见表16.3。通过表16.3可知,其主量元素SiO_2的含量范围在46.91%~63.58%,次量元素Al_2O_3含量范围在5.52%~11.56%。其中,蓝绿色彩绘层部分(测试点a和b)均含有较高的助熔剂(PbO和BaO),含量分别为6.78%和6.30%、10.37%和3.84%。此外,还含有一定量的K_2O,含量分别为6.21%和5.43%;以及含有少量的氧化铁和氧化铜(Fe_2O_3+CuO≈5%)。玲珑球的蓝绿色调与铁离子和铜离子的存在有密切关系,但也可能是中国蓝(Chinese blue,$BaCuSi_2O_6$)致色,这有待于进一步的科技分析。测试点c为胎体部分,也含有较高的PbO和BaO,含量分别为24.59%和5.86%。测试点d为蛇头部分的红色和白色区域,其化学成分显示PbO、BaO和Fe_2O_3的含量较高,分别为26.49%、5.56%和8.20%。

与蓝绿色彩绘层部分的K_2O的分析结果相比，可以注意到胎体与蛇头部分的红白色区域的K_2O含量很低，低于0.5%；而蓝绿色彩绘层部分较高，高于5%。

表16.3 无锡鸿山邱承墩遗址出土彩绘琉璃釉陶器主要化学成分的pXRF大气环境分析结果

(%)

编号	测试点	Al_2O_3	SiO_2	Cl	K_2O	CaO	Cr_2O_3	Fe_2O_3	CuO	ZnO	BaO	PbO
HSB-1a	蛇身交缠点，蓝绿色	7.35	63.58	0.17	6.21	4.57	0.09	0.64	4.26		6.30	6.78
HSB-1b	蛇身交缠点，蓝绿色	11.56	61.79	0.12	5.43	1.84	0.03	3.29	1.70		3.84	10.37
HSB-1c	底部白色点	5.52	52.34		0.44	8.79	0.21	2.03		0.05	5.86	24.59
HSB-1d	蛇头白色、红色部分	7.73	46.91	0.18	0.22	4.63		8.20	0.07	0.03	5.56	26.49

对小颗蜻蜓眼釉陶珠样品采用低真空环境进行分析，分析结果见表16.4。由表16.4可知，蜻蜓眼釉陶珠除陶胎外，皆含有较高的PbO和BaO，其含量分布范围分别为2.80%~16.63%和11.21%~26.60%。蜻蜓眼釉陶珠的白色芯部中PbO含量与表面釉层中接近，而BaO的含量高于表面釉层，这可能与表面釉层风化引起的BaO流失有关。铜离子和铁离子的存在使所分析釉陶珠呈现蓝色、蓝绿色和绿色，两者相对比例的不同会使釉陶珠的颜色产生变化。

此外，为了和汉代釉陶进行对比，科技考古中心与陕西西安市文物保护考古研究院合作，对西安市出土的西汉釉陶器也进行了pXRF现场原位无损分析，表16.5展示了部分样品的主要化学成分分析结果，皆属于$PbO-SiO_2$低温釉陶体系。其釉层的主要化学成分为PbO和SiO_2，PbO含量分别为61.17%、63.91%和49.66%，SiO_2含量分别为36.31%、34.37%和46.46%。几乎不含碱金属氧化物（K_2O 和Na_2O），CaO含量也很低（$<1.1\%$），但含有少量着色的CuO和Fe_2O_3。CuO和 Fe_2O_3 的含量在不同颜色的釉层中明显不同，如绿釉中含有较高的CuO（1.25%），Fe_2O_3的含量相对较少，小于1%；而酱釉和红釉中Fe_2O_3的含量为1.18%、1.69%，均不含CuO。

表16.4 无锡鸿山邱承墩遗址出土蜻蜓眼釉陶珠主要化学成分的pXRF低真空环境下分析结果

(%)

样品编号	测试区域	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO
HSB147-1a	绿色基体	2.32	1.02	6.05	65.33	0.00	0.77	1.02		0.06	
HSB147-1b	绿色眼球突出部分	2.33	1.06	7.47	60.65	0.00	1.26	0.93		0.05	
HSB147-1 c	白色部分	1.23	0.79	10.89	54.34	0.46	2.91	0.39		0.06	
HSB147-2a	白色部分1	1.36	0.47	8.77	57.42	1.22	2.99	0.16		0.05	
HSB147-2b	白色部分2	1.40	0.53	9.54	54.33	1.73	3.08	0.27		0.06	0.08
HSB147-2c	绿色部分	3.02	1.10	4.64	65.50	0.00	0.55	1.28		0.08	

（续表）

样品编号	测试区域	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO
HSB147-5a	内部陶胎	1.09	1.78	14.12	71.92	0.63	2.20	0.97	1.21		0.09
HSB147-5b	蓝色	2.62	0.65	8.07	53.32	0.00	0.94	0.83		0.12	
HSB147-5c	绿色	2.41	0.72	8.69	52.76	0.00	0.83	0.49		0.15	
HSB147-5d	白色	2.09	0.72	7.74	50.47	0.00	0.87	0.32		0.11	
样品编号	测试区域	Fe_2O_3	NiO_2	CuO	ZnO	Rb_2O	SrO	SnO_2	BaO	PbO	
HSB147-1a	绿色基体	0.92	0.03	2.17			0.20		13.71	6.40	
HSB147-1b	绿色眼球突出部分	3.46	0.03	1.51			0.17		18.27	2.80	
HSB147-1c	白色部分	2.29	0.02	0.02			0.13		12.38	14.10	
HSB147-2a	白色部分1	1.10	0.03	0.00			0.13		11.71	14.61	
HSB147-2b	白色部分2	0.83	0.02	0.16			0.13		11.21	16.63	
HSB147-2c	绿色部分	0.87	0.02	2.42			0.21		13.03	7.29	
HSB147-5a	内部陶胎	5.76	0.04	0.00	0.01	0.02	0.01			0.14	
HSB147-5b	蓝色	0.52	0.02	2.12			0.22	0.39	19.19	10.98	
HSB147-5c	绿色	0.45	0.03	1.28			0.27	0.34	26.60	4.99	
HSB147-5d	白色	0.57	0.03	0.40			0.21	0.92	20.00	15.56	

表 16.5 陕西西安出土西汉釉陶器主要化学成分的pXRF大气环境分析结果 （%）

编 号	器 名	出土墓葬	测试点	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2
Xi'an-41	釉陶仓	珠江二期M3：2	腹部绿釉		36.31			0.39	
Xi'an-42	釉陶壶	神光外包M62：13	腹部红釉		34.37			0.22	0.20
Xi'an-46	釉陶缸	珠江新城II期M1：3	肩部酱釉	0.73	46.46		0.06	1.08	0.33
编 号	器 名	出土墓葬	测试点	MnO	Fe_2O_3	CuO	BaO	PbO	
Xi'an-41	釉陶仓	珠江二期M3：2	腹部绿釉	0.12	0.76	1.25		61.17	
Xi'an-42	釉陶壶	神光外包M62：13	腹部红釉	0.12	1.18			63.91	
Xi'an-46	釉陶缸	珠江新城II期M1：3	肩部酱釉		1.69			49.66	

16.3.1 战国时期的低温釉陶的特点

此次在江苏无锡发现的战国早期的铅钡釉彩绘玲珑球以及蜻蜓眼釉陶珠，是极为珍贵的中国早期釉陶制品。科技考古中心曾在湖北江陵望山发现一件战国早期的涂有浅蓝色铅钡釉层的陶璜，并在江陵九店发现两颗战国中晚期的铅钡体系蜻蜓眼釉陶珠（图16.2）[5]。

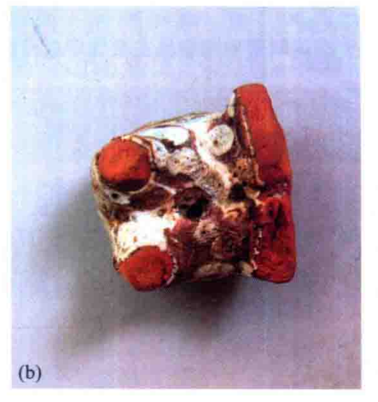




图16.2　湖北江陵出土的战国时期釉陶制品
(a) HBWKI-2-A，陶璜；(b) HBWKI-28，红白色蜻蜓眼釉陶珠；(c) HBWKI-35，蓝色蜻蜓眼釉陶珠

表16.6列举了湖北江陵出土的战国时期釉陶制品的主要化学成分。可以看出，湖北江陵望山战国早期墓出土的釉陶璜HBWKI-2-A，深黄色基底的主要化学成分为SiO_2 70.06%、Al_2O_3 16.01%，其他化学成分包括Na_2O 1.87%、K_2O 2.72%、Fe_2O_3 3.51%、PbO 1.11%，属于陶胎；基底上蓝色涂层的主要化学成分为SiO_2 49.59%、BaO 13.48%、PbO 12.25%，次要化学成分为Al_2O_3 9.63%、CuO 7.72%、Na_2O和K_2O（均小于0.5%），严格意义上说只是一层铅钡釉涂层。

江陵九店战国中晚期墓葬中的蜻蜓眼釉陶珠，其PbO和BaO的含量相对较低，不足10%。样品HBWKI-28年代为战国中晚期，白色釉层的主要化学成分为SiO_2 74.31%、BaO 6.19%、PbO 10.61%，属于铅钡釉；里面露出的黄色基底部位的主要化学成分为SiO_2 64.52%、Al_2O_3 15.78%、Fe_2O_3 10.68%，而Na_2O和K_2O含量皆低于2%，应属于陶胎。样品HBWKI-35年代为战国晚期，绿色表面的主要化学成分为SiO_2 57.65%、Al_2O_3 12.05%、BaO 9.92%、PbO 3.73%、CuO 4.45%、Na_2O 3.41%、K_2O 1.69%；黄色断面的主要化学成分为SiO_2 47.54%、Al_2O_3 17.38%、BaO 4.03%、PbO 8.37%，其他化学成分为MgO 3.27%、CaO 4.60%、Na_2O 1.48%、K_2O 2.64%、Fe_2O_3 3.44%，两个部分的釉料成分均属于铅钡硅酸盐体系。

江苏无锡鸿山邱承墩遗址出土的彩绘琉璃釉玲珑球和蜻蜓眼釉陶珠与湖北江陵出土的釉陶璜和蜻蜓眼釉陶珠非常相似，都是在陶胎外面施铅钡硅酸盐玻璃态的釉进行装饰。湖北江陵出土的釉陶制品的共同特征是：低镁，含有少量钠、钙，皆含有较高的PbO（含量在1.11%~16.63%）和BaO（含量在6.11%~26.60%）。PbO的引入是为了降低玻璃的熔化温度，同时也使玻璃不会失透，这是中国古人掌握玻璃的成分和性能关系的独到之处。而BaO的引入也能有效降低玻璃的熔化温度，但它容易产生析晶，能使玻璃形成乳白色，可以用来仿玉[9]。但江苏无锡和湖北江陵这8件釉陶样品与中国早期（战国、汉代）的铅钡硅酸盐玻璃相比，PbO和BaO的含量均偏低而Al_2O_3的含量偏高，后者的PbO含量在20%~50%、BaO含量在10%~20%。初步认为，这种差异可能与当时不同的制造技术和选用的原料有关。

表 16.6 湖北江陵出土战国时期釉陶制品主要化学成分的PIXE测定结果[3] (%)

样品编号	器物名称	年代	地点	测试部位	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2
HBWKI-2-A	釉陶璜片	战国早期	望山M2头箱	边上绿色	0.48	0.86	9.63	49.59	3.93	0.44	0.73	0.00
				中间凹陷	1.87	1.58	16.01	70.06	0.88	2.72	0.66	1.19
HBWKI-28	蜻蜓眼釉陶珠	战国中晚期	九店砖M869：7	白色釉层	0.16	0.63	4.98	74.31	1.11	0.38	0.34	0.00
				黄色基底	1.69	2.62	15.78	64.52	0.59	1.64	0.28	1.35
HBWKI-35	蜻蜓眼釉陶珠	战国晚期	九店砖M903：4	绿色	3.41	2.95	12.05	57.65	1.29	1.69	1.44	0.00

样品编号	器物名称	年代	地点	测试部位	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CuO	ZnO	BaO	PbO
HBWKI-2-A	釉陶璜片	战国早期	望山M2头箱	边上绿色	0.00	0.02	0.77	7.72	0.09	13.48	12.25
				中间凹陷	0.04	0.00	3.51	0.04	0.00	0.00	1.11
HBWKI-28	蜻蜓眼釉陶珠	战国中晚期	九店砖M869：7	白色釉层	0.00	0.00	0.94	0.35	0.00	6.19	10.61
				黄色基底	0.02	0.05	10.68	0.00	0.00	0.00	0.33
HBWKI-35	蜻蜓眼釉陶珠	战国晚期	九店砖M903：4	绿色	0.12	0.00	1.33	4.45	0.00	9.92	3.73

最初的釉陶只是在器物表面施以点状装饰或刷一层薄釉。蜻蜓眼釉陶珠的技术应该是受到西方钠钙蜻蜓眼玻璃珠的影响，从器形的模仿中发展而来。蜻蜓眼造型的珠子是中国春秋到战国时期最为典型的一类。

中国早期的铅钡硅酸盐玻璃已成为中国古代玻璃的特点[9]。国外早期的低温釉中尚未发现早于战国时期的铅钡釉。国外发现的铅钡低温釉制品也都是中国早期的陶瓷[10]。因此，这批无锡出土的战国时期的铅钡低温釉陶器是中国自制的。

16.3.2 中国早期釉陶的体系和可能产地

过去一般认为，中国低温釉陶起源于东汉。铅釉是中国汉代以后历代低温釉的一个显著特点，PbO 含量在45%~60%，不含BaO，也几乎不含 K_2O 和 Na_2O 等其他助熔剂[1]。由本

实验分析可知，中国低温釉陶发轫于战国早期，属于$PbO-BaO-SiO_2$体系，到了西汉才开始出现高铅体系的釉陶。江苏无锡鸿山越墓出土的战国早期铅钡釉彩绘玲珑球和蜻蜓眼釉陶珠，与湖北江陵战国墓葬出土的铅钡釉陶璜和蜻蜓眼釉陶珠十分相似，显示出彩绘琉璃釉玲珑球和蜻蜓眼釉陶珠在制作技术和来源上可能都与楚文化区域密切相关。楚国和越国在战国时期皆具有较强的经济实力，其陶瓷、青铜、铁器等手工业均十分发达，具备了烧造釉陶的基础。楚、越之间的经济、技术和文化等方面的交流在当时也十分显著。因此，考虑到彩绘琉璃釉玲珑球具有极强的地域色彩，作为礼器的玲珑球属于当地制作的可能性较强，但作为装饰品的蜻蜓眼釉陶珠不排除由楚国传入的可能。

综上所述，得出如下结论：

（1）无锡鸿山越墓出土的彩绘釉陶器玲珑球和蜻蜓眼釉陶珠采用了铅钡体系玻璃釉作为装饰，在时间上为战国早期，是目前所发现的最早的一批铅钡硅酸盐体系低温釉陶。结合湖北江陵釉陶的分析结果，认为中国低温釉陶起源于战国早期，而不是一般认为的汉代。

（2）无锡鸿山越墓出土的三件战国早期蜻蜓眼釉陶珠的绿色表层属于玻璃态釉层，内部为含铅、钡矿物的烧结体。从其时代、透明度、主要化学成分配比的一致性以及保存状态看，这些釉陶珠的制作技术达到了一个相当高的水平。同样采用铅钡体系玻璃态釉作为装饰的陶胎蜻蜓眼珠，在湖北江陵九店也有发现，时间为战国中晚期。战国时期铅钡釉的使用应与中国战国时期的铅钡玻璃密切相关。蜻蜓眼釉陶珠的器形应是受到西方输入的钠钙蜻蜓眼玻璃珠的影响，在器形的模仿中发展而来[11]。

（3）铅钡釉是中国一个极为重要的釉系，为研究低温釉、玻璃和瓷釉之间的渊源提供了重要线索。战国时期的铅钡釉陶为中国古代玻璃和低温釉陶的起源和发展奠定了基础。而汉代的高铅低温釉陶开辟了中国陶瓷科技发展史上第二个重要的釉系，为一系列低温彩釉和彩料的不断出现和创新奠定了基础[12]。

致谢：本工作得到“973”项目2012CB720901、2012CB720906资助。在实验过程中得到陕西省西安市文物保护考古研究院柴怡女士的热情帮助与协作，谨致谢意。

参考文献

[1] 张福康，张志刚．中国历代低温色釉的研究[J]．硅酸盐学报，1980，8(1)：9-19.

[2] 李家治．中国陶瓷史[M]．北京：文物出版社，1982：464-465.

[3] Wood N，Freestone Ian．所谓“玻璃浆料”装饰战国陶罐的初步检测[C]//郭景坤．古陶瓷科学技术3：国际讨论会论文集[ISAC'95]．上海：上海科学技术文献出版社，1997：12-17.

[4] Wood N，Freestone Ian，Colleen P S．战国时期中国陶瓷琉璃釉珠上的早期多彩釉[C]//郭景坤．古陶瓷科学技术4：国际讨论会论文集[ISAC'99]．上海：上海科学技术文献出版社，1999：29-37.

[5] 李青会，董俊卿，干福熹．中国早期釉砂和玻璃制品的化学成分和工艺特点探讨[J]．广西民族大学学

报：自然科学版，2009，15(4)：31-41.

[6] 关善明.中国古代玻璃[M].香港：香港中文大学文物馆，2001：160-171，174-175.

[7] 南京博物院，江苏省考古研究所，无锡市锡山区文物管理委员会.鸿山越墓[M].北京：文物出版社，2007：316-317.

[8] Liu Song，Li Qinghui，Gan Fuxi，et al. Characterization of some ancient glass vessels fragments found in Xinjiang，China，using a portable energy dispersive XRF spectrometer[J]. X-Ray Spectrom，2011(40)：364-375.

[9] 干福熹.中国古代玻璃技术的发展[M].上海：上海科学技术出版社，2005.

[10] Wood N. Chinese glazes：their origins，chemistry and recreation[M]. Philadephia：University of Pennsylvania Press，1999：189-191.

[11] Gan Fuxi，et al. Study on the most early glass eye-beads in China unearthed from Xu Jialing Tomb in Xichuan of Henan Province，China[J]. Science in China Series E：Technological Sciences, 2009，52(4)：922-927.

[12] 干福熹，赵虹霞，李青会，等.湖北省出土战国玻璃制品的科技分析与研究[J].江汉考古，2009(2)：108-116.

第17章 中国黄河和长江中下游地区古代玻璃成分的演变及制造技术的起源

干福熹

关于中国黄河和长江中下游地区不同时期古代玻璃遗物的形制、纹饰、质地、化学成分和结构的研究，已经有半个多世纪的历史，已报道了600多处发掘和出土的古代玻璃，有近千个出土古玻璃样品做了化学成分分析（不包括收藏品），10年前我们曾做了综合介绍和分析[1]。但是，对中国不同时期和不同地域出土的古代玻璃的起源和来源问题，尚须继续分析和探讨。古代西亚和埃及制造玻璃的历史要比中国早得多，它们对中国古代玻璃制造历史的影响是显然存在的，而中国在不同时期的玻璃物品和制造技术对周围国家和地区的传播也是明显的。

中国境内古代玻璃制品的来源有三个方面：① 玻璃制造技术来自本身，应用当地的原料制成玻璃物品；② 引用外来的玻璃制造技术和应用当地原料制成玻璃物品；③ 玻璃器皿是由国外引进的。

在文献[2]、[3]中已详细介绍了中国黄河和长江中下游地区古代玻璃的化学成分演变和制造技术的发展。图17.1展示了中国古代玻璃的化学成分演变的过程，由此可知，中国古代玻璃的发展，按玻璃成分的演变，可以分为五个阶段：

（1）春秋到战国早期：$K_2O-CaO-SiO_2$系统，其中$K_2O/Na_2O>1$。

（2）战国到东汉时期：$PbO-BaO-SiO_2$系统和K_2O-SiO_2系统。

（3）东汉到唐代时期：$PbO-SiO_2$系统。

（4）唐代到元代时期：$K_2O-PbO-SiO_2$系统。

（5）元代到清代时期：$K_2O-CaO-SiO_2$系统。

近10年中出土了不少古玻璃器，本章将着重介绍在这10年中采用中国自己制造玻璃的技术在各个阶段制成的古代玻璃器的发展和进程。研究发现，各时期的古玻璃的化学成分还是很少改变的。

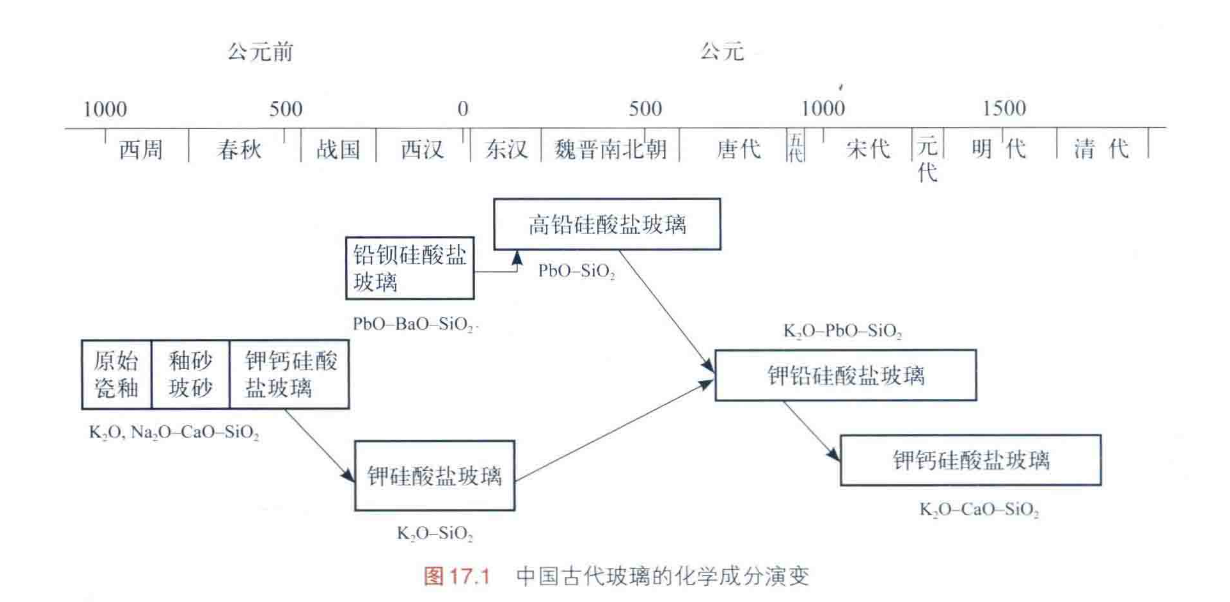


图17.1 中国古代玻璃的化学成分演变

17.1 中国黄河和长江中下游地区先秦时期的含碱钙硅酸盐玻璃

中国最早的玻璃态质地的古玻璃为含碱钙硅酸盐玻璃(alkali–lime–silicate glass)。大多是单色玻璃珠和镶嵌物，属春秋末期和战国早期(前500—前400)，出土的玻璃不多，主要在长江流域地区，如吴王剑、越王剑剑格上的镶嵌玻璃，湖北楚墓中出土的单色玻璃珠等。由于受出土时实验条件的限制，未作仔细和完整的分析研究，见表17.1中样品1~4，还属于定性分析的结果，但皆属含碱钙硅酸盐玻璃($R_2O–CaO–SiO_2$)，由于分子比K_2O/Na_2O的不同分为两类。

第一类为$Na_2O–CaO–SiO_2$系统玻璃，如表17.1中样品1、4、5，类似古代西亚或古埃及的玻璃。

近年来我们用无损分析方法，较仔细地测定了11颗镶嵌彩色玻璃珠。这批蜻蜓眼玻璃珠出土于河南淅川徐家岭墓地，属战国早期[10]。这批古玻璃珠的主要成分以及各点的测试结果比较均匀。化学成分全分析结果见本书附录B.3。1颗玻璃珠的不同部位的化学成分见表17.2，它们属于钠钙硅酸盐系统($NaO_2/K_2O \geqslant 1$)。11颗玻璃珠中6颗比较完整的玻璃珠见图17.2。通过与古埃及的蜻蜓眼的纹饰(图17.3)和化学成分的对比，认为这批玻璃珠是最早从西方传入。同样的蜻蜓眼玻璃珠还出土于战国早期湖北随县擂鼓墩。

蜻蜓眼玻璃珠的深蓝色珠眼用氧化钴(CoO)着色，这是中国出土文物中迄今为止发现最早使用钴蓝的例子，古代西亚和古埃及早于古代中国使用钴蓝近千年。

第二类为$K_2O–CaO–SiO_2$系统玻璃，如表17.1中样品3、6，这是中国古代特有的。表17.3列出对湖北江陵九店的古代玻璃和玻砂的详细测定结果[11]。

上述出土文物中的越王勾践剑属国家特级文物，剑身上刻有"越王勾践，自作用剑"的铭文，剑身上布满黑色菱形花纹，甚为锋利，剑格向外突出，正面镶有蓝色玻璃，出土时还留有两粒；背面镶有绿松石[12](见本书第9章图9.1)。所以这是历史上十分名贵的剑，也可见

表 17.1　中国黄河和长江中下游地区最早的一批古代玻璃的化学成分

编号	样品	年代	出土地	测量方法	玻璃化学成分(%)										文献
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	BaO	PbO	K_2O	Na_2O	CuO	
1	蜻蜓眼玻璃珠	公元前500年	河南固始侯古堆				0.65	9.42	0.35			0.52	10.94		[4]
2	剑格上的剑饰	前495—前473	河南辉县吴王夫差墓												[5]
3	剑格上的剑饰	前496—前464	湖北江陵望山一号墓	PIXE											[6]
4	料珠	公元前400年	湖北随县曾侯乙墓	C.A	56.1	1.37	1.02	4.07	2.24	0.05	2.80	2.60	6.99	0.37	[7]
				XRF											[8]
5	蓝色玻璃镶白色蜻蜓眼	前500—前400	河南淅川徐家岭楚墓No1	PIXE	76.9	3.26	0.46	8.18	0.48	0.11		0.68	6.0	1.28	[10]
6	蓝色玻璃珠	前400—前300	湖北江陵九店楚墓	PIXE	71.3	6.83	1.19	2.37	1.75	0.14	1.00	10.7	1.81	2.64	[11]
				EDXRF	78.4	5.68	0.83	2.36	0.57		0.10	9.60		1.76	

表 17.2　河南淅川徐家岭和湖北随县擂鼓墩出土蜻蜓眼玻璃珠样品(HNZZ01)不同部位的化学成分　(%)

编号	产地	样品部位及颜色	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	CoO	CuO	ZnO	PbO	Sb_2O_3
HNZZ01	河南淅川徐家岭	基体：蓝色	9.51	0.19	3.4	72.8	0.31	0.45	0.61	2.15	8.54	0.04	0.58	0.03	1.21	0.03	0.00	0.00
		珠眼：蓝色	9.91	0.97	3.5	70.5	0.22	0.56	0.68	1.17	8.62	0.11	2.86	0.25	0.48	0.04	0.00	0.00
		眼圈：红+白	7.37	1.17	3.8	75.0	0.23	0.67	0.83	1.01	8.73	0.11	0.76	0.04	0.13	0.04	0.00	0.00
Lgd1	湖北随县擂鼓墩	蓝色基体	4.29	0.33	2.14	75.06		1.04		0.97	11.34		0.81		0.90		0.52	2.59
		棕色眼部	4.62	0.32	2.18	73.69		0.91		0.92	11.49		1.00		0.45		0.70	3.34
	埃及Amarna*		18.36	5.2	3.85	58.5				0.6	10.30		1.53	0.25	0.25			

*注：加入埃及Amarna出土样品的数据，以作对比。



图 17.2 河南淅川徐家岭墓地出土的玻璃珠



图 17.3 古埃及的蜻蜓眼玻璃珠

当时镶嵌的玻璃的珍贵。在20世纪80年代，对越王勾践剑剑格上的镶嵌玻璃，用PIXE法做了分析，它属于钾钙硅酸盐玻璃（K_2O–CaO–SiO_2）。我们用PIXE法和EDXRF法分析了在同地（湖北江陵望山）出土的但时代稍后（前450—前400）的楚墓玻璃珠，其化学成分见表17.1中编号6，它属于含K_2O很高的含碱钙硅酸盐玻璃。

这种玻璃的化学成分是在古埃及和古巴比伦玻璃中少见的。对比湖北江陵九店玻璃的化学成分（表17.3）与江西等地低钙原始瓷釉的化学成分（表17.4），可以看到它们之间的化学成分十分接近。这说明中国最早的古代玻璃制备技术可能从原始瓷釉技术演变而来，产地都在长江流域。最近发现的浙江德清亭子桥窑和萧山前山窑的原始瓷的瓷器，品质达到青瓷，而其釉质中有一部分为含Na_2O或K_2O较高的碱性釉，见表17.4。原始瓷的瓷釉是用釉浆涂敷于陶器表面，它不需要容器。从制备瓷釉到制备玻璃，在工艺上的最大变化为熔炼玻璃要有容器——耐火的坩埚，但这在起源于商代（前17—前11世纪）的青铜冶炼和炼丹的基础上已有条件。

表 17.3 湖北江陵战国玻璃、玻砂制品的 PIXE 测定结果 (%)

编号	器名	地点	部位	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO
HBWKI-27	蜻蜓眼玻璃珠	江陵九店：江．九．砖M871：1	蓝色眼珠	1.10	1.43	6.48	67.46	0.43	11.62	3.62
			芯层	0.00	0.88	3.12	90.26	0.64	2.56	0.97
HBWKI-30-A	玻璃管	江陵九店：江．九．砖M808：9	浅色处	0.24	1.09	6.96	70.33	0.43	12.75	3.80
			深色处	1.12	0.95	3.98	70.04	0.96	13.44	3.64
HBWKI-30-B			浅色管	0.53	1.03	14.07	68.82	0.82	1.81	0.50
HBWKI-36	玻璃珠	江陵九店：江．九．砖M804：7	眼珠	0.85	1.54	4.65	76.42	0.71	8.18	2.89
HBWKI-47	玻砂管	84江陵九店头箱	外面蓝色区	2.54	1.22	5.96	67.62	0.81	11.93	3.22
			芯层	0.00	1.15	15.37	74.18	0.45	2.84	0.59
HBWKI-48	玻砂珠	江陵九店M286	外侧	0.53	1.48	15.87	59.74	0.69	7.57	3.15
			芯层	1.41	1.15	2.70	88.72	1.09	1.95	0.85

编号	器名	地点	部位	TiO_2	Fe_2O_3	CuO	ZnO	BaO	PbO	
HBWKI-27	蜻蜓眼玻璃珠	江陵九店：江．九．砖M871：1	蓝色眼珠	0.25	1.79	5.07	0.03	0.00	0.00	
			芯层	0.17	0.99	0.15	0.00	0.00	0.00	
HBWKI-30-A	玻璃管	江陵九店：江．九．砖M808：9	浅色处	0.24	1.33	2.52	0.08	0.00	0.00	
			深色处	0.30	1.43	3.26	0.00	0.00	0.00	
HBWKI-30-B			浅色管	0.59	2.00	3.82	0.04	3.98	1.95	
HBWKI-36	玻璃珠	江陵九店：江．九．砖M804：7	眼珠	0.25	1.41	2.34	0.15	0.00	0.00	
HBWKI-47	玻砂管	84江陵九店头箱	外面蓝色区	0.15	1.64	3.36	0.51	0.86	0.00	
			芯层	0.96	3.89	0.14	0.06	0.00	0.00	
HBWKI-48	玻砂珠	江陵九店M286	外侧	0.40	4.29	4.41	0.07	0.00	1.06	
			芯层	0.15	1.29	0.63	0.00	0.00	0.00	

表 17.4 江西等地早期瓷釉的化学成分 (%)

年代	出土地	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	文献
商至西周	江西清江樊城堆	72.67	8.57	4.24	3.65	0.68	8.99	1.27	0	0.34	0	[14]
商代晚期	江西鹰潭角山	61.69	17.97	5.00	4.49	1.72	7.43	0.47	0.05	0.96	0.22	[14]
西周晚期	浙江萧山	68.48	13.98	1.93	2.16	1.52	8.51	2.06	—	0.36	—	[15]

17.2 中国黄河和长江中下游地区战国、汉代的铅钡硅酸盐玻璃和钾硅酸盐玻璃

为了提高玻璃的透明度和降低玻璃的熔化温度，中国古人用不同的途径在改进助熔剂上作努力。在春秋时期人们已熟悉铅丹（氧化铅）和硝石（硝酸钾），并将其作为药材，而它们有助熔剂的作用，因此，战国时期铅钡硅酸盐玻璃和钾硅酸盐玻璃在长江流域首先发展。中国冶炼青铜中使用铅的技术起源很早，铅能降低熔化温度并增加流动性。早期的青铜为铜-锡-铅的合金，所以，在中国商、周时期制备青铜时已有应用铅矿的经验。在长江流域地区，如湖南、安徽、江西等地富产铅矿如方铅矿（PbS），和钡矿如重晶石（$BaSO_4$），人们用它们来作为玻璃的助熔剂是可以理解的。在长江流域，中国铅钡硅酸盐玻璃的出土地点往往和铅矿的分布地点相一致。安徽亳县出土的半透明眼珠，属春秋末战国初（前6—前5世纪）。这是目前发现最早的铅钡硅酸盐玻璃，玻璃化学成分见表17.5。湖南长沙资兴出土了东周的琉璃璧、珠、印、剑管等200多件，可见当时已较普遍应用[19]。如表17.5所示，在战国中、晚期，铅钡硅酸盐玻璃制品已主要在中国的黄河和长江中下游地区发现。

表17.5　发现最早的春秋至战国时期铅钡硅酸盐玻璃和钾硅酸盐玻璃的化学成分　（%）

编号	样　品	年　代	出土地	测量方法	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	文献
1	白色云纹璧	战国	长沙楚墓	XRF	36.57	0.46	0.15	2.10	0.21	[16]
2	半透明灰色眼珠	春秋末战国初	安徽亳县	C.A	47.15	9.50	0.86	1.61	0.29	[17]
3	六棱柱形绿色玻璃珠	战国晚期	云南江川	C.A	81.36	2.70		1.80		[18]
4	琉璃璧	战国	安徽寿县	C.A	32.26					[27]
编号	样　品	年　代	出土地	测量方法	BaO	PbO	K_2O	Na_2O	CuO	文献
1	白色云纹璧	战国	长沙楚墓	XRF	10.10	44.71	0.10	3.72	0.02	[16]
2	半透明灰色眼珠	春秋末战国初	安徽亳县	C.A	12.12	22.46	1.74	2.99	0.82	[17]
3	六棱柱形绿色玻璃珠	战国晚期	云南江川	C.A			14.27			[18]
4	琉璃璧	战国	安徽寿县	C.A	13.57	41.17				[27]

中国古代铅钡硅酸盐玻璃主要采用模压的工艺，这也是从青铜的制造中引用过来的。至汉代已能制造大尺寸的平板玻璃，如西汉早期广州南越王墓中已发现9.5 cm × 4.5 cm × 0.3 cm的平板玻璃[20]；陕西汉茂陵出土了直径为23.4 cm、厚1.8 cm、重达1.9 kg的玻璃璧[21]；山

东即墨出土的铅钡硅酸盐玻璃厚板，尺寸达 32.5 cm × 14.8 cm × 3.5 cm，重量达 5.25 kg[22]。铅钡硅酸盐玻璃在中国战国至汉代之际，在全国有很广泛的流传和扩展，从南方的广东、广西，西南的四川、贵州，传至西北的青海、甘肃，东北的辽宁。自从 20 世纪 30 年代西方学者塞利格曼（Seligman）与贝克（Beck）分析了中国河南金村古墓出土的玻璃珠，年代跨越西汉至唐代，发现为铅钡硅酸盐玻璃后[23]，国际上一致公认此为最有中国特色的中国本地自制的古代玻璃。铅钡硅酸盐玻璃也是中国古代玻璃流传于中国境外的主要例证。

近期由于开发了便携式的 XRF（pXRF）设备和拉曼光谱设备，可以在线（原位）测试玻璃的成分和结构。江苏盱眙大云山汉墓（江都王陵墓）的 22 块玻璃磬（编钟），最大的尺寸达 70 cm，重量达 17 kg。平均成分为 PbO 31.8%、BaO 13.68%、SiO_2 47.78%。由于表面风化，形成 $PbCO_3$ 和 $BaSO_4$ 晶体，此玻璃制作说明了中国西汉时期铅钡硅酸盐玻璃工艺已达到顶峰水平（见本书第 3 章图 3.14、图 3.15）。5 块玻璃磬体的化学成分见表 17.6。

表 17.6　用 pXRF 设备测定的 5 块玻璃磬体的化学成分　（%）

序列	样品编号	SiO_2	Al_2O_3	PbO	BaO	P_2O_5	Fe_2O_3	CuO	CaO	MnO	NiO	Cl
1	M1：3918-3	70.94	0.85	18.99	6.39	0.23	0.18	0.19	1.52	0.13	0.02	0.55
2	M1：3918-12	65.34	0.98	31.87	0.79	0.40	0.10	0.09		0.10	0.02	0.27
3	M1：3918-13	74.22	1.31	20.43	0.80		0.26	0.02	2.74	0.08	0.02	0.10
4	M1：3918-14	77.28	1.13	19.02	1.68		0.48	0.04	0.17	0.08		0.12
5	M1：3918-2	49.83	1.33	40.28	0.60	0.34	0.29	0.63	6.14	0.12	0.03	0.35

另一件对铅钡硅酸盐玻璃有重要意义的工艺发展，为原位测试了战国早期的江苏无锡鸿山越墓出土的多彩釉陶玲珑球（图 16.1b）。在大气环境中测试到彩色部分的釉料为铅钡硅酸盐玻璃，见表 17.7。这显示了中国战国早期釉陶的低温釉和玻璃器密切相关。古代中国自制的低温釉可能早于西方。

表 17.7　多彩釉陶器的半定量分析结果（大气环境）　（%）

编号	测试点	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	Cl	$P(\times10^{-6})$	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	Fe_2O_3	CuO	ZnO	BaO	PbO
1	蓝色	7.35	63.58	—	0.17		6.21	4.57	—	0.09	0.64	4.26		6.30	6.78
2	蓝色	11.56	61.79	—	0.12		5.43	1.84	—	0.03	3.29	1.70		3.84	10.37
3	底部红褐色		36.86	7.44		239	1.23	13.41	3.78	0.01	35.07			1.47	0.74
4	中部白色条带		2.33	29.83		1 754		41.29	25.74		0.62		0.04	0.77	0.04

（续表）

编号	测试点	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	Cl	P(×10^{-6})	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	Fe_2O_3	CuO	ZnO	BaO	PbO
5	底部灰白色点1	5.52	52.34	—			0.44	8.79	—	0.21	2.03		0.05	5.86	24.59
6	底部灰白色点2		8.43	24.36		1 596		34.39	32.82		1.07			0.34	88×10^{-6}
7	蛇头白+红褐	7.73	46.91	—	0.18		0.22	4.63	—		8.20	0.07	0.03	5.56	26.49

注："—"表示存在谱线干扰。

中国古人改进玻璃助熔剂的另一途径为，在早期含碱钙硅酸盐玻璃中增加K_2O的含量。用硝石（KNO_3）代替草木灰作助熔剂，可以增加K_2O的含量。中国古人使用硝石很早，作为药物，在西汉时期已有史料记载。由于硝石的熔点低（330℃），因此也很早应用于古代炼丹术[26]。

20世纪80年代在对南方出土的古代玻璃的成分分析中，发现这些玻璃中Al_2O_3、CaO、Na_2O的含量皆很低，均小于3%，而K_2O的含量很高（$>10\%$），是比较典型的钾硅酸盐玻璃（potash-silicate glass）[17]。这些古代玻璃大多出土于汉代的古墓中。目前已发现最早的钾硅酸盐玻璃出土于战国古墓中，见本书第14章图14.1、图14.3。湖北江陵、湖南长沙楚墓中，其与铅钡硅酸盐玻璃珠同时作为墓葬品[25]。由此可见，钾硅酸盐玻璃与铅钡硅酸盐玻璃几乎同时制作于长江流域。至西汉早期，钾硅酸盐玻璃也出土于西南，见表17.5。特别在气候温暖的地方，在雨季后进入炎热的天气时，土壤表面会生成钾硝石。所以，南方的广东、云南出土了汉代的钾硅酸盐玻璃，成为中国古代钾硅酸盐玻璃的主要产地。

在介绍了中国黄河和长江中下游地区早期四类古代玻璃（$Na_2O-CaO-SiO_2$、$K_2O-CaO-SiO_2$、$PbO-BaO-SiO_2$和K_2O-SiO_2）后，自然还存在一个问题，即这四类古玻璃在这些地区出现的次序。按照目前的研究结果来看，西方钠钙硅酸盐玻璃珠最早出现在这些地区。从古代的釉砂开始，中国古人有所认识后开始仿制单色玻璃珠和镶嵌珠。后来用当地材料用原始瓷和釉陶的工艺制造中国自制的后三类古玻璃器。

17.3 中国黄河和长江中下游地区隋、唐、宋时期的高铅硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃

中国古代玻璃往往作为仿玉的礼品和装饰品。采用氧化钡可使玻璃微失透成乳白色，也降低了玻璃的熔化温度。当时采用压铸成型的方法制成璧、珠、耳珰等。中国由于有历史悠久的炼丹术，对提炼和应用黄丹（PbO）和铅丹（红丹、Pb_3O_4）已有经验[26]。所以，为了制备透明的玻璃，在玻璃成分中不采用氧化钡而提高氧化铅的含量是可以理解的，高铅硅酸盐玻璃始于战国，而到东汉以后较为流行。

西方玻璃吹制技术传入中国黄河和长江中下游地区，始于隋代(6世纪)。吹制玻璃器皿，希望玻璃的黏度随温度的变化速度较慢，俗称料性要长，这也是不用氧化钡而提高氧化铅含量的主要原因。高铅硅酸盐玻璃对熔炼用的耐火坩埚的腐蚀性很大，因此以后逐渐用氧化钾替代部分氧化铅而形成钾铅硅酸盐玻璃系统，这类玻璃的料性也很长。综上所述，中国古人应用硝石很早，并且已有制备钾硅酸盐玻璃的经验。所以，发展成钾铅硅酸盐玻璃是必然的趋势，这也是中国古人认识玻璃的化学成分与它的物理性质间的关系的过程。可以认为，用高铅硅酸盐玻璃吹制成玻璃器皿是中国古代特有的，典型的器物和玻璃的化学成分见表17.8。某些玻璃器皿如寺院中用的舍利瓶、墓葬中的蛋形器等，皆具有东方文化的特色，其发展主要在中国黄河和长江中下游地区。

表17.8 古代高铅硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃的化学成分 (%)

出土地	玻 璃 器	年代	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	PbO	K_2O	Na_2O	CuO	文献
河南洛阳	料珠	战国	18.20					74.01		3.29		[30]
广西	玻璃杯	隋	34.92	1.57				62.1		1.43		[31]
贵州平坝马场	玻璃珠M50	南北朝	49.38	2.61				35.52	7.48	3.69	0.63 Cl(0.66)	[29]
	玻璃珠M41	六朝	47.91	2.41	0.1		1.1	38.68	7.36	1.78	Cl(0.59)	[28]
陕西三原李寿墓	绿色玻璃瓶	唐	36.16	2.42		1.09	2.84	46.65	0.95	10.01		[15]
辽宁朝阳	绿色玻璃珠	唐	26.32		0.16	0.13	0.1	50.31	10.09	0.29	0.13	[15]
湖北郧县李泰墓	黄色短颈玻璃瓶	唐	30.49	1.61	0.33	0.20	0.30	64.29	0.27	0.3		[27]
安徽寿县	绿玻璃杯	北宋	27.88	0.32 0.44	0.20 1.77	0.22 0.33	0.04 0.07	66.86 67.83	0.53 0.61	0.13 0.21	2.96 0.40	[4]
河北定县	绿色葫芦玻璃瓶	北宋	26.85		0.19	0.35	0.1	70.04	0.34	0.18	0.41	[28]
甘肃灵台	舍利瓶	北宋			0.19	0.13	0.1	50.31	10.09	0.29	0.13	[28]
河南密县	绿色玻璃鹅	北宋			0.15	0.17	0.04	47.34	11.45	0.08	0.18	[15]
	红色玻璃蛋形器	北宋	33.78	2.02	3.15	3.52	0.31	40.15	14.78	0.13	1.32	[15]
河北定县	黑褐色玻璃葡萄	北宋	36.93	1.11	4.13	0.36	0.08	45.93	8.45	0.08	1.44	[15]

唐代是古代中外文化交流十分活跃的时期。近年来在修复法门寺塔时，打开地宫，出土了一大批十分珍贵的文物，其中有18件玻璃器皿，保存得十分完整，有几件具有典型的伊斯兰文化特色，见本书第11章图11.3、图11.4；也有两件为典型的中国式茶具，见图11.5，使文物考古界不能正确判断是进口的还是自制的。最近我们应用原位无损分析技术(pXRF)，测定

了18件古玻璃器，得到结果全为钠钙硅酸盐玻璃系统，主成分范围为：Na_2O 8%~13%、CaO 6%~9%、SiO_2 64%~69%、K_2O 2%~4%、MgO 3%~7%，着色剂为CoO、MnO、Fe_2O。另外，用西方吹制技术仿制中国瓷器茶具的玻璃器，是表达对中国友好关系的一种方式。

17.4 中国黄河和长江中下游地区元、明、清时期的钾钙硅酸盐玻璃

自从玻璃吹制技术由西方传入后，钠钙硅酸盐玻璃自唐代以后开始在中国黄河和长江中下游地区应用和制作。纯碱（Na_2CO_3）、芒硝（$NaNO_3$）和石灰石（$CaCO_3$）是较普遍分布的矿物，钠钙硅酸盐玻璃在中国黄河和长江中下游地区开始制作但不甚普遍。含钙的硅酸盐玻璃的化学稳定性高，从宋代开始钾铅硅酸盐玻璃中用氧化钙代替氧化铅逐渐发展，同时熔炼玻璃的炉温当时也可以达到较高的温度（1 400℃），所以，元代以后中国黄河和长江中下游地区制造的玻璃是以钾钙硅酸盐系统为主。玻璃的主要制造地为北京故宫内的造办处玻璃厂、山东博山的琉璃厂以及后来的广州。表17.9列举了各地制造的玻璃物品的化学成分。

这里应该特别指出，15—19世纪，世界各地皆以钠钙硅酸盐系统作为制造玻璃的化学成分，而且主要成分的偏差很小，而中国黄河和长江中下游地区始终以氧化钾为主要熔剂，以钾钙硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃为主要玻璃产品，这说明中国黄河和长江中下游地区使用氧化钾和氧化铅原料的传统性，从中也表明中国古代玻璃在化学成分上的特色，也使我们比较容易识别中国黄河和长江中下游地区自制的玻璃或从外传入的玻璃制品。也应该提出，由于中国古代玻璃的化学成分的特殊性，以及应用原料上的传统性，使中国古代玻璃制品直到明、清时期仍然以装饰品和礼品为主，特别是中国黄河和长江中下游地区日用器皿惯用中国最早发明的瓷器，从而使中国的古代玻璃制造技术发展不快，这实为遗憾之处。

表 17.9　中国古代钾钙硅酸盐玻璃的化学成分　（%）

出土地	玻璃器	年代	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	PbO	K_2O	Na_2O	CuO	文献
四川	玻璃簪	元—明	67.42	2.28	0.57	11.36		0.1	17.31		0.03	[30]
广东汕头	蓝色玻璃发簪	明	66.25	5.60	0.30	10.54		0.04	16.45		0.68	[30]
北京	无色透明玻璃瓶	清	42.44	6.08	0.09	0.03	—	38.57	14.54	0.19	—	[34]
北京	绿色杯	清代乾隆	74.80	1.63	0.15	0.19	0.04	0.25	20.89	0.18	0.49	[33]
北京	无色透明玻璃棒	清	56.21	—	—	6.31	—	14.35	23.11	—	—	[34]
北京	鼻烟壶	清代乾隆	65.91	1.97	0.42	6.73	0.13	—	22.5	—	0.25	[34]
山东博山	蓝色玻璃棒	明	55.26	7.52	0.42	10.57	0.44	—	15.04	4.01	0.9	[34]

（续表）

出土地	玻璃器	年代	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	PbO	K_2O	Na_2O	CuO	文献
山东博山	蓝色玻璃簪柄	元末明初	59.53	0.06	0.3	9.42	0.22	0.46	19.78	2.0	—	[33]
山东博山	紫色玻璃料	元末明初	66.86	7.20	3.04	8.21	0.30	—	12.19 TiO_2 0.3	—	0.6	[33]
山东博山	白色棋子	明—清	72.33	9.94	0.36	5.95		ZnO–	10.89	SO_3 0.19		[35]
山东博山	蓝色棋子	明—清	69.70	6.41	0.15	8.36		0.03	14.52	0.13	0.41	[35]
山东博山	蓝色发夹	明—清	71.59	8.57	0.44	7.65		0.04	5.13	4.27	1.44	[35]
山东博山	伞形绿珠	明—清	63.29	9.34	0.72	8.23		0.10	16.23	0.58	1.07	[35]
山东博山	白色发夹尾部	明—清	69.14	9.98	0.44	8.60		—	11.30	0.33		[35]
山东博山	黑色发夹尾部	明—清	78.23	8.78	0.61	5.74		—	4.50	1.82		[35]
山东博山	淡黄色带孔圆片	明—清	72.02	9.17	0.69	10.67		—	3.56	3.09		[35]

参考文献

[1] 干福熹，等. 中国古代玻璃技术的发展[M]. 上海：上海科学技术出版社，2005：220–240.
[2] 干福熹. 中国古代玻璃的起源和发展[J]. 自然杂志，2006（4）：87–193.
[3] 伏修峰，干福熹. 中国古代釉砂的研究[J]. 中国硅酸盐学报，2006，34（4）：427–431.
[4] 张福康，程朱海，张志刚. 中国古琉璃的研究[J]. 硅酸盐学报，1983，11（1）：70–71.
[5] 崔墨材. 吴王夫差剑的考究[J]. 中原文物特刊，1981：[页码不详].
[6] 陈振裕. 望山一号的年代与墓主[C]// 中国考古学会. 中国考古学会第一次年会论文集. 北京：文物出版社，1978.
[7] 湖北省博物馆. 随县曾侯乙墓[M]. 北京：文物出版社，1989：658.
[8] 后德俊. 谈我国古代玻璃的几个问题[C]// 干福熹. 中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集. 北京：中国建筑工业出版社，1988：60.
[9] 干福熹，承焕生，李青会. 中国古代玻璃的起源：中国最早的古代玻璃研究[J]. 中国科学：E辑，2007，37（3）：382–391.
[10] 干福熹，承焕生，胡永庆，等. 河南淅川徐家岭出土中国最早的蜻蜓眼玻璃珠的研究[J]. 中国科学：E辑技术科学，2009，39（4）：787–792.
[11] 李青会，董俊卿，干福熹. 中国早期釉砂和玻璃制品的化学成分和工艺特点探讨[J]. 广西民族大学学报：自然科学版，2009，15（4）：31–41.

[12] 段鸣镝.王者之剑[M].长沙：湖南科学技术出版社，2003.

[13] Chen Jianxin, Li Hongkou, Ren Chigang, et al. PIXE research with an external beam[J]. Nuclear Instruments and Methods, 1980(168): 437-440.

[14] 罗宏杰，李家治，高力明.关于江西的原始瓷研究[J].硅酸盐学报，1996(241)：114-118.

[15] 郑建明，陈元甫，周建忠，等.瓷之源：原始瓷与德清窑学术研讨会纪要[N].中国文物报，2008-05-09(7).

[16] 史美光，何欧里，吴宗道，等.一批中国古代玻璃的研究[C]//干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1988：5-9.

[17] Shi Meiguang, He Ouli, Zhou Fuzheng. Chemical composition of ancient glasses unearthed in China[C]// Proceedings of 15th International Congress on Glass, Leningrad, Session Archaeology, 1989: 7-12.

[18] 史美光，何欧里，周福征.一批中国汉墓出土钾玻璃的研究[J].硅酸盐学报，1986，14(3)：307-313.

[19] 周世荣.湖南出土琉璃器的主要特点及其重要意义[J].考古，1988(6)：547-555.

[20] 广州市文物管理委员会.广州汉墓[M].北京：文物出版社，1982.

[21] 王志杰，朱杰元.汉茂陵及其陪葬塚附近新发现的重要文物[J].文物，1976(7)：55.

[22] Shi Meiguang, Zhou Fuzheng. Investigation on ancient flat glass unearthed from China[C]//Proceedings of 16th International Congress on Glass. Bol. Soc.Esp. Cerm-Vid, 1992(7): 161-166.

[23] Seligman C G, Ritchie P D, Beck H C. Early Chinese glass from Pre-Han to Tang's time[J]. Nature, 1936(138): 721.

[24] 孟乃昌.汉唐消石名实考辨[J].自然科学史研究，1983，2(2)：97-111.

[25] 干福熹，黄振发，肖炳荣.我国古代玻璃的起源问题[J].硅酸盐学报，1978，6(1/2)：99-104.

[26] 干福熹.中国南方古玻璃研究：2002年南宁中国南方古玻璃研讨会论文集[M].上海：上海科学技术出版社，2003.

[27] 赵匡华.试探中国传统玻璃的源流及炼丹术在其间的贡献[J].自然科学史研究，1991(2)：145-156.

[28] 中国建筑材料科学研究总院，清华大学，中国社会科学院考古研究所.中国早期玻璃器检验报告[J].考古学报，1984(4)：449-457.

[29] 安家瑶.中国早期(西汉-北宋)玻璃器皿[C]//干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社，1988：86-104.

[30] 冯永驱.广州发现的汉代玻璃器[C]//干福熹.中国南方古玻璃研究：2002年南宁中国南方古玻璃研讨会论文集.上海：上海科学技术出版社，2003：25-30.

[31] 袁翰青.我国化学工艺史中的制作玻璃问题[C]//中国化学学会.中国化学学会1957年报告会论文摘要，1957：80-81.

[32] 黄启善.广西古代玻璃制品的发现及其研究[J].考古，1988(6)：264-276.

[33] 淄博市博物馆.淄博元末明初玻璃作坊遗址[J].考古，1985(6)：530-539.

[34] Shi Meiguang, He Ouli, Zhou Fuzheng. Some glasses of Qing Dynasty[J]. J. Glass Studies,1993(35): 102-105.

[35] 李飞，李青会，干福熹，等.一批中国古玻璃化学成分的原子激发X射线荧光分析[J].硅酸盐学报，2005，33(5)：581-586.

第18章 中国古代玻璃的文化和技术交流

干福熹

众所周知，世界上有四大文明发源地，即两河流域的美索不达米亚、尼罗河流域的埃及、恒河和印度河流域的印度，以及黄河和长江流域的中国。四大文明发源地都以其独特的文明特点而独立地发展，但不是封闭和孤立的，而是相互直接或间接影响、联系和融合，共同促进人类文明的发展。四大文明发源地相隔甚远，特别在古代，要有相互往来，是很难想象的。但是经考古发现，人们已逐渐认识到这种往来确实存在。因为当各古代文明中心兴起后，就波浪式地向外扩展，影响着周边地区。这种来往开始不是直接的，而是通过很多游牧民族间接形成交流。这些民族以后也慢慢地融合、同化在一起。人类文明的发展是多中心的，但并不排斥各文明中心的交流。在人类文明的进程中各文明中心和各民族都有各自的贡献，并且相互交流和学习。这就是我们研究古代中外文化和技术交流的基本观点。

中国一直是个多民族的国家。以往经常讲，远古时代中国文明发源于以黄帝为代表的黄土文明的黄河流域。近代考古发掘证明，以河姆渡为代表的长江流域和其他地区都有灿烂的远古文明。华夏文化也是以各民族和各文明中心的文化交流和融合而成的。

第17章已介绍过，中国黄河和长江中下游地区独特的玻璃系统$PbO-BaO-SiO_2$、$PbO-SiO_2$、$K_2O-PbO-SiO_2$、K_2O-SiO_2和$K_2O-CaO-SiO_2$的形成和发展，比美索不达米亚地区和古埃及要晚1 000多年，但在当时，中国和西方在玻璃制造技术上的交流和来往也必然存在。现在发现中国境内最早的古代玻璃出土于新疆，早于黄河和长江中下游地区的古代玻璃近500年，而新疆又是与中亚相邻之处。所以，一般认为中国的丝绸的外传代表了最早的中外文化与技术交流，而玻璃技术的传入也可能成为最早的这种交流的见证。

18.1 中国西北和北方地区古代玻璃的发展过程和化学成分的特征

中国西北地区是西北（沙漠）丝绸之路在中国境内的主要通道，从河南洛阳和陕西西安经河西走廊，进入新疆（古代称西域），是中国古代黄河和长江中下游地区与西亚和欧洲来往的要地。北方（草原）丝绸之路是从洛阳、西安北上，经内蒙古草原，向西进入新疆或向西北经西伯利亚平原进入南欧。

从19世纪末至20世纪初，不少国外探险家和考古学家在中国西北和北方地区发掘和出土了不少古代玻璃，也带至国外做了一些化学成分分析。罗伯特·布里尔（R. H. Brill）提供了这批玻璃的数据和总结分析[1]。半个多世纪以来，中国文物考古界在中国西北和北方地区进行了一系列研究工作，系统发掘出土了不少古代玻璃物品，这些古玻璃物品的年代、历史、出土地点和文化背景都有准确的数据和资料，详见文献[2]。近年来中国自然科学家也对这些地区出土的100多个古代玻璃样品做了化学成分和质地分析。因此，现在我们可以对中国西北和北方地区的古代玻璃作进一步的分析了解。

18.1.1 新疆的古代玻璃

20世纪下半叶新疆出土了数以千计的古代玻璃物品，历史年代自西周一直到元代，出土地点遍布新疆天山南北，主要在西北（沙漠）丝绸之路新疆境内的南线和北线。有关古代玻璃物品的出土情况和历史背景等，详见干福熹主编的《丝绸之路上的古代玻璃研究》一书（复旦大学出版社，2007年）。论文集中收集了张平、于志勇、王博、李文瑛、李强等人的文章[3-7]。近几年来对新疆不同地点出土的古代玻璃，用近代物理方法如PIXE、ICP-AES、XRF等，进行了化学成分的仔细分析，部分实验结果也已发表[8-12]，其详细的化学成分分析结果见附录B.1、C.4~C.6。这些科技考古的结果可以使我们对新疆古代玻璃的来源和发展有一些新的认识，改变了传统的看法，即新疆古代玻璃物品是从汉通西域后全部从西方经丝绸之路传来。下面介绍几处有新发现的新疆古代玻璃的研究结果。

1）新疆拜城克孜尔出土的古代玻璃

克孜尔墓地出土了大量的单色玻璃珠，墓地的朽木标本，用碳-14测定的年代数据，经树轮校正，绝对年代均在公元前1100年至公元前600年。从考古学上来判断，其相对时代为西周至春秋早期。因此，克孜尔出土的玻璃应是目前中国境内出土最早的一批玻璃珠。克孜尔出土玻璃的古墓的数量约占墓群的四分之一，而且非贵族墓，属一般的墓地，这说明当时玻璃有一定程度的普遍使用。新疆拜城和塔城出土的都是早期的玻璃珠，这批玻璃珠大部分均为单色无镶嵌的。西方在公元前16世纪至公元前13世纪已有单色珠，公元前13世纪出现多色珠，在公元前10世纪至公元前6世纪已流行镶嵌珠。新疆拜城出土的这批玻璃珠大都是单色珠，图案型式也比较简单。出土的早期玻璃珠中尚未发现当时流行的镶嵌玻璃珠。用ICP-AES、PIXE和SEM-EDS等方法分析了出土古代玻璃样品的化学成分[8-10]，见表18.1。系统的化学成分分析结果见本书附录B.1。

表 18.1 ICP-AES 和 PIXE 测定新疆拜城出土早期玻璃珠的化学成分[9,11] (%)

样 品	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	K_2O	Al_2O_3	PbO	BaO	CuO	Fe_2O_3	TiO_2	B_2O_3	Sb_2O_5	Pb_2O_5
XJ-1A	63.10	18.27	5.88	5.20	2.57	1.12	0.09	0.02	0.79	0.57	0.07	0.10		1.02
XJ-2A	65.38	11.54	8.88	5.02	1.59	1.99	1.93	0.01	0.01	1.03	0.02	0.06	0.72	0.09
XJ-2B	64.31	12.05	4.80	2.67	2.42	1.36	9.01	0.008	0.001	1.10	0.07	0.22	1.60	0.34
XJ-3A	65.19	15.27	6.65	3.66	2.93	1.44	0.02	0.02	0.76	0.86	0.13	0.10		2.54
XJ-4A	66.11	14.29	6.61	4.58	2.19	1.89	0.62	0.01	0.90	1.07	0.17	0.03	1.44	
XJ-30	75.44	9.08	7.74	3.35	1.51	1.43	0.02	0.005	0.56	0.34	0.11	0.24	0.03	
XJ-40	68.88	15.93	3.11	4.03	2.20	0.87	0.02	0.005	1.10	0.56	0.04	0.10	0.01	

新疆这批早期玻璃珠的化学成分与西亚的古代玻璃非常接近，但玻璃中含有较多气泡，其技术水平相比之下比较差。这正说明当时从西方主要带来的是玻璃的制作技术，而不是玻璃制品。因为对技术的吸收和创造需要有一个过程，当时借鉴了西亚的玻璃制造技术，采用当地的矿物，如滑石、辉石、蛇纹石、草木灰以及炼铜的炉渣等原料制备出当地早期的玻璃珠。新疆拜城出土的有些玻璃中同时含有较高的PbO和Sb_2O_3，并且玻璃中含有富铅锑相的结晶，这是同时期西亚和中亚古代玻璃中未发现的，这与当地原料的特点和炼铜术有关。所以，玻璃珠是采用西方的配方和方法制备的，拜城玻璃是用本地材料制造的。

2）新疆战国时期的古代玻璃

新疆至今发现了三处战国时期的古代玻璃，其出土情况和玻璃的化学成分见表18.2[12]。

如上所述在中国黄河和长江中下游地区战国时期最早的两类有特色的玻璃，即铅钡硅酸盐玻璃和钾硅酸盐玻璃，皆也发现于新疆。典型的铅钡硅酸盐玻璃样品XJ-46出土于哈密。哈密地处新疆的东端，是西北（沙漠）丝绸之路从甘肃进入新疆的要地；该玻璃的发现，可以证明铅钡硅酸盐玻璃已从东向西传至新疆。另一种为典型的钾硅酸盐玻璃（样品XJ-5A，XJ-5B），至今在中亚地区尚未发现有钾硅酸盐玻璃。该钾硅酸盐玻璃出土地点在温宿县，位于西北（沙漠）丝绸之路的北路西侧。其很少有可能从南亚（如印度）传入，而从中国黄河和长江中下游地区传入的可能性较大。关于钾硅酸盐玻璃的起源问题将在以后详细讨论。总之，在战国时期西北（沙漠）丝绸之路的中外交流活动已较活跃，新疆的古代玻璃并不像众人所讲都是自西向东传入的，早期也有部分沿丝绸之路从东向西传出。

出土于且末的古代玻璃样品（XJ-6A，XJ-6B）属K_2O、MgO和Al_2O_3含量较高的钠钙硅酸盐玻璃。碱的部分来源于植物灰，属高原地区制造的钠（钾）钙硅酸盐玻璃。在公元前300年以后中亚地区的古代玻璃中，这种玻璃化学成分较多。古印度地区（前400—前300）也有Al_2O_3含量较高的钠（钾）钙硅酸盐玻璃，关于这类玻璃的来源还有待于考古发掘的进一步深入。

表18.2 新疆战国时期古代玻璃样品情况和化学成分分析结果

样品编号	出土或采集地点	年代
XJ-5A	温宿包孜东，83WBM41	战国
XJ-5B	温宿包孜东，83WBM41	战国
XJ-6A	且末扎滚鲁克，98QZIM1249：9	战国
XJ-6B	且末扎滚鲁克，98QZIM1249：9	战国
XJ-46	哈密96HHSHM14，临55号	战国
XJ-42A	和田，阿克斯皮力古城	唐—宋
XJ-42B	和田，阿克斯皮力古城	唐—宋

编号	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	K_2O	Al_2O_3	PbO	BaO	CuO	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5
XJ-5A	77.92	0.82	1.97	0.36	15.6	1.63	0.005	0.03	0.91	0.57	0.12	
XJ-5B	78.71	0.81	2.36	0.47	14.18	1.63	0.005	0.02	1.19	0.43	0.06	
XJ-6A	63.09	18.71	4.66	2.74	2.27	4.42	0.02	0.11	1.33	0.67	0.17	0.41
XJ-6B	62.66	17.36	6.38	3.76	3.86	4.23		0.10	0.56	0.80	0.16	
XJ-46	20.18	2.2	1.90	0.28	0.36	1.00	47.14	14.62	0.06	12.03	0.05	0.11
XJ-42A（绿）	70.66		10.44		3.85	6.06	2.51		2.54	2.89	0.29	
XJ-42A（黑）	56.98	3.36	1.13	0.16	0.44	2.39	23.7	1.34	2.86	4.44		0.54
XJ-42B（白）	67.64		0.72		0.69	1.94	24.79	1.27	0.47	1.48		0.99
XJ-42B（绿）	57.04		3.41		0.51	6.94	23.77	5.42	1.08	0.84		0.98

3）新疆出土的镶嵌玻璃珠（图18.1）

世界各地最早出现的玻璃物品为各种形式玻璃珠，并与天然玉石珠混合组成串珠。古巴比伦和古埃及在公元前16世纪至公元前13世纪已有单色珠，公元前15世纪出现彩色珠，公元前10世纪至公元前6世纪已流行镶嵌珠。中国黄河和长江中下游地区的镶嵌玻璃珠出现于战国初期（公元前400年）。新疆早期的古代玻璃物品也是单色玻璃珠，镶嵌玻璃珠出现较迟，出现在东汉以后，大约在唐至宋代。从玻璃成分来看，从西方和东方传入的皆有。从和田阿克斯皮力古城出土的同年代的两颗蜻蜓眼玻璃珠，玻璃基质成分有很大的差别：玻璃样品XJ-42A为含K_2O和Al_2O_3较高的钠钙硅酸盐玻璃（用PIXE方法分析玻璃成分，Na_2O含量是不敏感的），而玻璃样品XJ-42B为铅钡硅酸盐玻璃[12]，它与中国黄河和长江中下游地区的铅钡硅酸盐玻璃相似，该蜻蜓眼玻璃珠从中国黄河和长江中下游地区传入。

从以上几例说明，新疆是中国最早能制造玻璃的地方；从玻璃成分的特点，可以看到新




图 18.1 新疆各时期出土的古代玻璃

(a) 山普拉 92LS Ⅱ M6-366 出土的汉代橘红色琉璃珠项链;(b) 山普拉 84LS Ⅰ M49：155L 出土的汉—晋蓝地蜻蜓眼玻璃珠;(c) 营盘 99BYYM18：13 出土的东汉—魏晋带六棱柱形白色玻璃珠的金耳饰

疆是东西方技术交流的融合处。

18.1.2 甘肃、青海、宁夏的古代玻璃

甘肃、青海、宁夏出土的古代玻璃的情况，详见文献[2]。这个地区是西北（沙漠）丝绸之路与黄河和长江中下游地区贯通的重要相关地区。以往在这个地区的发掘较多，而对玻璃的化学成分分析不多。为了更全面了解这一地区的古代玻璃，今后玻璃科技界与文物考古界进行合作研究更为重要。

1）甘肃的古代玻璃

西北（沙漠）丝绸之路贯穿甘肃境内，成为东西文化、技术和经济交流的要地。因为从

秦代开始已在甘肃境内设郡，所以受中原和楚文化影响较深，大部分出土的汉代玻璃品以中国特有的形式，如耳珰、璧等为主，玻璃的化学成分也属于有中国特色的铅钡硅酸盐玻璃和高铅硅酸盐玻璃，见表18.3。

最近分析检验的战国珠属于玻砂，即内部含有未熔化的石英砂，玻璃相部分为铅钡硅酸盐玻璃系统。所以，有可能该玻砂珠在当地制造，因炉温较低未能全部熔化成玻璃。由此可见甘肃受黄河和长江中下游地区的玻璃制造技术影响较早。至今尚未发现东汉以前由西传入的钠钙硅酸盐玻璃。汉代以后玻璃成为丝绸之路上贸易流通的一部分，西方玻璃制品也有一定的流入，特别是玻璃吹制技术的传入，形成玻璃器皿制造。

表18.3　甘肃出土的早期玻璃样品的化学成分　(%)

编号	样品	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	MgO	K_2O	PbO	BaO	CaO	CoO	MnO	Fe_2O_3	CuO	方法	文献
GSU-1	礼县大堡子山战国浅绿色玻砂管珠		3.27	51.84		0.17	28.89	8.46	1.30		P_2O_5 2.43	0.68	2.81	PIXE	自测
GSU-2	兰州金城汉墓绿色玻璃耳珰		7.24	45.15		1.40	33.85	9.54	0.83			0.61	0.51	PIXE	自测
GSU-3	武威汉墓蓝色玻璃耳珰		1.53	56.45		0.57	24.10	10.34	3.80		0.34	0.66	0.09	PIXE	自测
	酒泉汉耳珰	9.30	2.10	49.33	1.40	0.51	21.62	8.83	3.16	0.04	0.33	0.48	0.09	C.A	[26]
	灵台宋葫芦瓶	0.29	2.75	38.32	0.10	10.09	50.31		0.13		0.02	0.16	0.13	C.A	[26]
		0.11	2.75	36.32	0.04	11.94	53.40		0.18		0.01	0.29		C.A	[26]

2）青海的古代玻璃

青海邻近甘肃、新疆和西藏，是西北（沙漠）丝绸之路和西南（佛教）丝绸之路的交汇地。汉代开辟青海并设置西海郡，所以其受中国黄河和长江中下游地区文化影响也较明显，特别在青海河湟之间，曾称“湟中之地”，为羌人、小月氏和汉人的杂居区。古代玻璃的出土也在此地区。任晓燕详细地介绍了青海发现的汉代玻璃器，见文献[13]。著名的如上孙家寨汉晋墓地出土的古代玻璃（图18.2），其化学成分已作分析[14]。从玻璃的化学成分可知，主要为三类玻璃，即从中国黄河和长江中下游地区传来的铅钡硅酸盐玻璃，以耳珰玻璃为主；化学成分类似古埃及和罗马的钠钙硅酸盐玻璃以及个别钾硅酸盐玻璃。由此可以看到，青海大通是丝绸之路的融合地区，出土的玻璃物品具有当时东方汉代和西方罗马的代表性特征。

3）宁夏的古代玻璃

宁夏是西北（沙漠）丝绸之路东段北道必经辖区之一，也是黄河和长江中下游地区农耕文化和北方游牧文化交流之地。在宁夏固原和宁夏中东部盐池县粟特人墓葬中，出土了不少从北朝至隋唐的古代玻璃器物[15]。早期玻璃以具黄河和长江中下游地区特色的珠、耳珰、



图 18.2　青海出土的古代玻璃

（a）青海上孙家寨甲M127出土的西汉晚期的T形玻璃耳珰;（b）青海上孙家寨甲M4-31出土的东汉晚期的腰鼓形玻璃耳珰

琮等小型物品为主，从古代玻璃物品的形式和纹饰可以看出，是从黄河和长江中下游地区传入的。北周田弘墓出土玻璃珠900颗，其中送检的90颗玻璃用X射线荧光光谱法测定，确定为PbO含量不同的高铅硅酸盐玻璃[16]，中国本地制造。在几座大墓中如北周李贤墓、田弘墓、隋正议大夫史射勿墓、唐史诃耽墓等，出土了具有萨珊玻璃风格的玻璃碗、杯等，明显地表征是从西方传入的[17]。

宁夏古代玻璃的科技考古研究还是不够充分的，有待进一步组织合作研究。

18.1.3　内蒙古的古代玻璃

内蒙古地处中国正北方，占有大片的草原，为北方（草原）丝绸之路南下必经之地，也是黄河和长江中下游地区文化和北方草原文化相汇之处。黄雪寅对散落于内蒙古草原上的古代玻璃物品做了详细的分析研究，从文化交流的角度分析了各时期玻璃制品的来源[18]。近年来我们对内蒙古几个主要时期的玻璃样品，应用PIXE无损物理分析方法做了化学成分的全分析[19]。最早属于西周时期的样品为釉砂，包含了很多石英砂，以氧化钾（K_2O）和氧化钙（CaO）为主要熔剂。早期釉砂样品出土于额济纳旗，该地区临古代居延海，为古代北边丝绸之路的草原道或称居延海道的要地。由此南下可能直接进入黄河和长江中下游地区，据称西周周穆王西行经此道，额济纳旗出土的西周早期的釉砂，可能来自西亚，由此中转。早期匈奴民族在西周时期已有可能与黄河和长江中下游地区来往，有黄河和长江中下游地区的铅钡硅酸盐玻璃出土。到西汉时期，匈奴与黄河和长江中下游地区文化交流不断加强，通过战争、贸易及联姻等多种形式，黄河和长江中下游地区当时流行的各色玻璃珠流入此地，作为匈奴贵族们的奢侈品，常与金饰片、玛瑙等饰品串联一起；玻璃的化学成分属高铅硅酸盐系统。

到魏晋南北朝时期，北方草原的主要民族是鲜卑族，其势力范围从草原到中原洛阳。当时黄河和长江中下游地区也处于汉通西域后与西方交往的活跃时期，带到内蒙古

的玻璃珠饰有可能来自波斯，因此北魏时期玻璃珠的化学成分应属钠钙硅酸盐系统，具体的出处要从玻璃珠的纹饰和造型来进一步判断。至辽代，辽国成为强大的国度占据着中国的北方，中亚诸国先后朝贡于辽，所以有像陈国公主墓出土的玻璃器皿，其玻璃成分属钠钙硅酸盐系统。

到金、元代时，势力已扩展至全中国，但毕竟与中国黄河和长江中下游地区比较接近，所以，元上都出土的各种珠饰与发簪的玻璃化学成分为中国黄河和长江中下游地区有特色的钾钙硅酸盐系统。内蒙古出土的古代玻璃见图18.3。



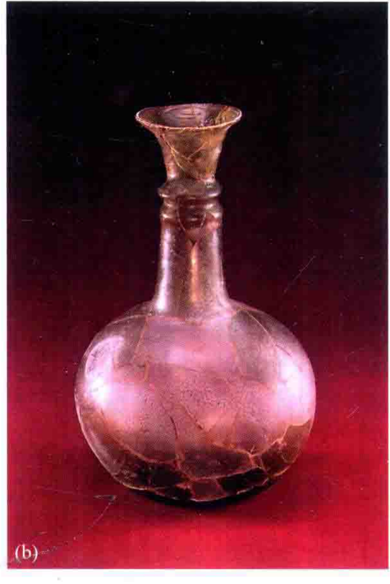


图18.3 内蒙古出土的古代玻璃

(a)内蒙古鄂尔多斯市准格尔旗西沟畔出土的汉代玻璃串饰；(b)内蒙古通辽市陈国公主墓出土的辽代乳钉纹带把玻璃瓶

18.2 中国西南和南方地区古代玻璃的发展过程和化学成分的特征

对于中国西南和南方地区的古代玻璃特征，以往研究较少。最近我们比较集中地研究了中国西南和南方地区古代玻璃的样品，分析了50多件古代玻璃的化学成分[20]，详见本书附录A.1。表18.4列举了若干出土古玻璃器的年代和出土地点。

1）西南地区出土的古代玻璃

主要分为三大玻璃系列：铅钡硅酸盐玻璃、钾硅酸盐玻璃和钠钙硅酸盐玻璃，并且以前两类为主。可以看到西南地区如四川、云南、贵州的古代玻璃制品大都从黄河和长江中下游地区流传过去。从形体和纹饰上也受中国黄河和长江中下游地区的影响，特别是楚文化和技术的影响较深。其中钠钙硅酸盐玻璃出土时间较晚（六朝），可能从西南（佛教）丝绸之路自印度经缅甸传入，或从西北（沙漠）丝绸之路传入西南地区。中国西南地区出土的古代玻璃见图18.4。

2）南方地区出土的古代玻璃

中国南方（广东、广西）应用海路比较方便，特别对于玻璃瓶、罐等易碎的玻璃器皿。中

表18.4　中国西南和南方地区出土最早的铅钡玻璃和钾硅酸盐玻璃[20]

编号	样品	年代	出土地点	玻璃化学成分(%)												
				SiO_2	CaO	K_2O	Al_2O_3	PbO	BaO	CuO	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	Cr_2O_3	P_2O_5	SO_3
1	蓝色龟形器	西汉	广西合浦	77.87	1.42	16.97	1.55				2.14					
2	红色玻璃珠	西汉晚期	广东北横	64.24	4.6	16.67	5.31			5.41	2.64					
3	蜻蜓眼玻璃珠、蓝色基体、白蓝色眼	战国(前400—前300)	广东肇庆松山墓	49.95	2.87	1.81	9.01	18.58	15.82	0.06	1.43	0		0.03	0.45	
4	绿色玻璃珠	战国晚期(前300—前250)	贵州赫章可乐M-91	58.10	1.14	0.6	6.10	19.71	9.14	0.58	1.88	0	0.05	0	1.22	0.05
5	蜻蜓眼玻璃珠,黑色基体,黄色、绿色眼部	战国(前400—前300)	四川青川郝家坪	54.72	1.27	0.47	3.05	25.16	11.82	2.54	0.44	0		0.04		
6	深蓝玻璃嵌天蓝色和白色蜻蜓眼玻璃珠	战国(前400—前300)	重庆开县余家坝三峡库区	58.53	0.57	0.51	2.65	28.78	6.97	0.64	0.27				1.07	
7	蓝色玻璃珠	战国—西汉(前250—前200)	贵州威宁中山梨园M-42	77.38	0.48	10.83	6.8		0.18	0.20	1.41	0.27	1.09	0.03	0.25	1.09
8	黄色玻璃珠	战国—西汉(前250—前200)	四川理县	73.87	7.04	9.75	3.44	0.36	0.03	0.01	1.07	0.17			0.19	
9	蓝绿色玻璃珠	战国(前400—前300)	新疆温宿县包孜东M-41	75.13	1.74	18.40	2.47			1.09	0.74	0.09	0.04			0.04
10	六棱柱形绿色玻璃珠	战国晚期	云南江川李家山	81.36	1.80	14.21	2.7									
11	箕状玻璃珠	西汉	云南晋宁石寨山	77.87	2.33	17.22					0.47					
12	蓝色耳珰	汉	贵州清镇	77.32	1.38	9.33	5.15				3.01		2.16			

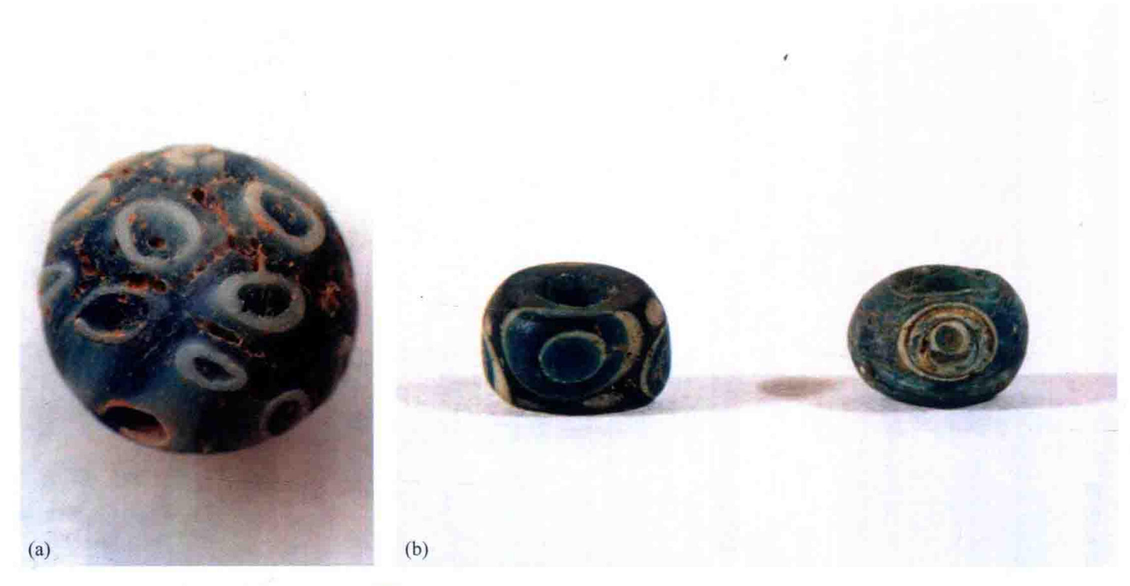


图 18.4　中国西南地区出土的古代玻璃

(a)贵州清镇芦荻M87出土的六朝蜻蜓眼玻璃珠(贵州省博物馆藏);(b)云南晋宁县石寨山出土的西汉蜻蜓眼玻璃珠(云南省博物馆藏)

国古代的海运港口为广西的合浦,后来发展到广东省广州为主要集散地。

今广西合浦县和广东徐闻县为中国古代南方(海上)丝绸之路的起点,是汉至六朝的重要出海口。合浦不但是郡治的驻地,而且是繁华的港口,是当时南方一大都会及政治、经济、文化中心。南郊遗存着一个有封土的1 056座汉墓葬群。从汉墓葬群中出土了大量的玻璃饰物,玻璃珠数以千计,可见当时已较普遍使用。主要出土玻璃物品的化学成分属钾硅酸盐系统,也有个别属铅钡硅酸盐系统和高铅硅酸盐系统。玻璃物品以珠、耳珰、穿坠等小型装饰品为主,所以,都是中国有特色的玻璃物品,常见于中原、楚国和吴越等地。故而合浦、徐闻等地出土的两汉期间的玻璃物品应该属于当地制作和当地应用,以后也可能远销海外。出土的六朝年代的玻璃物品以器皿为主,而且玻璃的化学成分属钠钙硅酸盐系统(包括不同含量的K_2O、MgO和Al_2O_3),从造型和纹饰可以看出,大部分属外来进口,以萨珊玻璃为主。熊昭明与李青会对广西出土的汉代玻璃器做了详细的研究和分析,详见文献[21]。

东汉以后广州逐渐成为中国南部的出海口城市。广东的出土玻璃物品的分期分类也十分明显。战国和西汉的出土玻璃物品以珠、璧、蜻蜓眼、耳珰为主,具有楚器风格,如南越国墓葬,大部分为铅钡硅酸盐玻璃,少数为钾硅酸盐玻璃。而东汉以后的器皿,如杯、瓶、碗等容器,则以钠钙硅酸盐玻璃为主,带有西方特色。所以,总体上来说,战国和西汉时期的中国南方的玻璃是受中原和楚文化的技术影响,从北方传来的为主;也从两广的出海口,流传海外。而从东汉后,玻璃器皿大都从海外运来,从南方海口城市上岸而向北方传输。玻璃是易碎的物品,陆上丝绸之路运输困难,因而海上丝绸之路发挥了更重要的作用。中国南方地区出土的古代玻璃见图18.5。




图18.5 中国南方地区出土的古代玻璃
(a)广西合浦县合环黄泥岗M1出土的六棱柱形玻璃珠(1世纪);(b)广州南汉康陵出土的玻璃瓶(修复后)

18.3 古代丝绸之路和古代玻璃的交流

目前中国还缺乏汉通西域、建立丝绸之路前的史料,说明当时的中外交往。国家和民族间的文化传播往往早于文字记载,而考古资料和一些古代传说又往往能提供有价值的信息。《穆天子传》和《山海经》是神话般的记载,但目前看来有一定的根据和可信性。周穆王西行,到了葱岭以西的中亚伊朗高原地区,有人认为其所至的"旷原",就是现在的吉尔吉斯斯坦草原,行程三万五千里。丝绸是中国的独特创造,至今约有5 000年历史。根据国外文献报道,精美的丝绸制品,早在3 000年前便在天山北麓的草原上出现。公元前6世纪至公元前3世纪的希腊雕刻和陶器彩绘人像中,人物所穿衣服细薄透明,可推测那时中国丝绸制品已经成为希腊上层人物喜爱的服装。因此,可以认为公元前6世纪以前,已有明显的中西来往。近代在新疆米兰遗址考古发掘出的希腊人头像和西域妇女的塑像(皆藏于英国大英博物馆),皆属于公元前6世纪的文物[22],证明了这段时间也有西方文化的进入。现在,保守分析估计,比较科学的史前中西文化交流的时间,大致可以推定始于公元前11世纪,即中国商、周之交[23]。

"丝绸之路"是沟通欧亚经济、政治、文化和技术的大动脉的代名词,在古代起了很重要的作用,考察丝绸之路在古代玻璃物品、技术的交流和传播上的作用是十分有意义的。从上述中国古代玻璃的发展中,已可看到东西文化和贸易的交流来往对古代玻璃物品和制造技术的影响。

张骞"凿空通西域"开拓中西来往,促进中外交流,实属亘古壮举。但张骞西行前相当时间已有中西来往,而张骞西行后又有新的中外来往的交通线路开辟。按照联合国教科文组织的提法,中外来往的通道约有以下四条:① 北方(草原)通道;② 西北(沙漠)通道;③ 西南(佛教)通道;④ 南方(海上)通道[24]。以下分别介绍各条丝绸之路的通道概况以及古代玻璃在这些丝绸之路上的流通状况。重点在先秦和秦汉时期的中外交流。

1）北方（草原）丝绸之路

欧亚大陆草原地形开阔、平坦，游牧民族来去倏忽、迁徙无常，对史前人们的往来起了很大的作用。在新石器时代后期（约公元前4000年）的印欧语系（Indo-European）人（以下简称印欧人），于公元前3000年进入中东地区，向西遍达南俄，甚至进入欧洲中部。并于公元前2000年从伊朗地区进入印度次大陆，见图18.6[25]。印欧人有否向东进入西伯利亚、塔里木盆地和蒙古草原，为众所关心的。最近考古资料表明，印欧人东进是存在的。学术界把早期月氏人、龟兹人、车师人和楼兰人等都统称为吐火罗人（Tocharian），因为其语言都属有特色的印欧语系，属欧罗巴人种，为最早定居于天山南北的古代民族。根据考古发掘，吐火罗人最早的文化产生在阿勒泰山与天山之间，称克尔木齐文化，时代在公元前2200年至公元前1900年，从出土文物的特色，认为其受印欧人最早起源于中亚颜那亚（Yannaya）文化（前3600—前2200）的影响，也称石冢墓文化。公元前1800—公元前1600年克尔木齐人南下至塔里木盆地，形成了小河-古墓沟文化。在此期间印欧人中雅利安人（Ariya）向东迁至塔里木盆地，引入安德罗诺沃文化。汉藏语系的羌人东迁至塔里木，把河西文化（四坝文化）引入新疆境内。由此形成天山北麓文化、新塔拉文化（天山南麓）和尼雅北方青铜文化（塔里木盆地），时间约在公元前1500年[26]。这可称作最早的中西来往，是史前北方（草原）丝绸

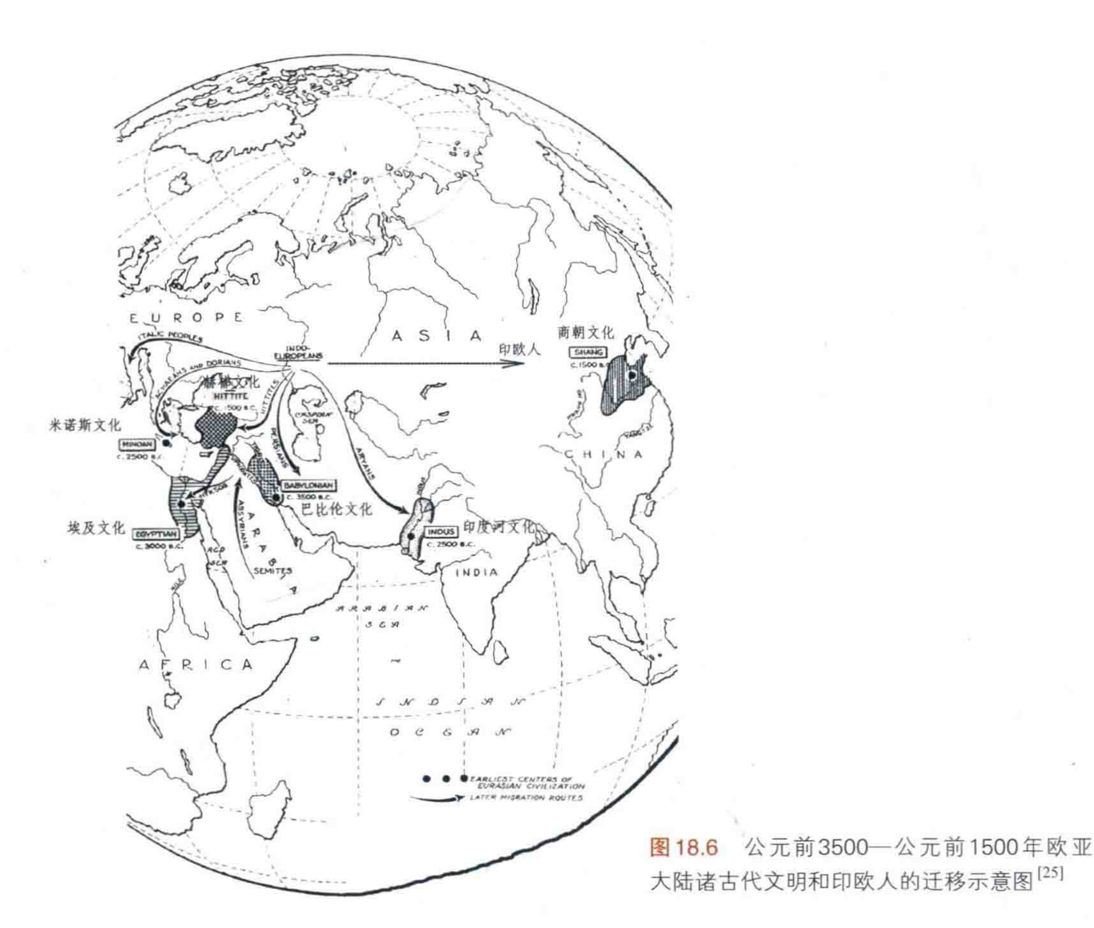


图18.6　公元前3500—公元前1500年欧亚大陆诸古代文明和印欧人的迁移示意图[25]

之路的雏形。

北方（草原）丝绸之路对中国的影响，主要与中国的西北和北方如阿勒泰地区、内蒙古等密切有关。这些地区当时主要的游牧部落为塞族、匈奴族和鲜卑族等。

北方（草原）丝绸之路上的游牧部落一直在迁移，所以很少发现有公元前1000年的埋葬品比较丰富的墓地，只有当游牧部落定居下来、进行农耕活动时，才可能有可发掘的遗址和遗物。在北方（草原）丝绸之路的北路上，著名的巴泽雷克（Pazyryk）冰冻古墓，位于俄罗斯戈尔诺阿尔泰省乌拉干区，时间处于公元前6—公元前4世纪和公元前3—公元前1世纪，相当于中国的春秋战国时期，其后期出土文物中有中国的丝绸、玉器、漆器等，但没有出土古代玻璃制品的报道。这是一座塞族首领的墓。当时巴泽雷克为东西贸易中心[27]。从中国的正北方经蒙古草原，北上至西伯利亚外贝加尔湖地区，然后西去南俄草原，南去伊朗，为北方（草原）丝绸之路的北路，在此通道上古代玻璃发现不多。中国内蒙古境内最早的古代玻璃为从中国黄河和长江中下游地区传入的汉代铅钡硅酸盐玻璃。蒙古和西伯利亚地区的古代玻璃尚待进一步调查了解。

北方（草原）丝绸之路的南路，是从伊犁河流域和七河流域（巴尔喀什湖地区）盆地，经额尔齐斯河流域的阿勒泰山南麓，到内蒙古西北草原，进入河套地区。这个地区在先秦时期比较活跃。周穆王西行回来的道路，据说是从楚河、塔拉斯草原经阿勒泰南部，过额尔齐斯河，经草原道，穿居延海、河套，南下阴山（大青山）进入陕西南郑。那时南面塔里木盆地尚偏僻和封闭。

在这个地区，如前所述，中国内蒙古西北额济纳旗出土了釉砂，属于西周早期。邻近的哈萨克地区出土了公元前6世纪、公元前5世纪的蜻蜓眼玻璃项链，阿勒泰山以西、伊犁河流域也陆续出土了春秋、战国至两汉时期的玻璃珠、首饰等[2]。上述考古资料可以认证，这一历史时期东西之间北方（草原）丝绸之路已开通，传播了古代玻璃物品。以后的草原道，即东接西北（沙漠）丝绸之路的支道，从哈密，经巴里坤草原、内蒙古草原至河套地区，对从新疆运输玉石和玻璃起了更重要的作用。

秦汉以后北方（草原）丝绸之路一直在匈奴、鲜卑、突厥、契丹等民族控制之下，早期并不畅通，但北宋以后的辽、金打通了东西通道，中亚和西亚与中国东北地区的交流就是通过北方（草原）丝绸之路。所以，在中国东北地区出土了不少辽、金及以后时代的伊斯兰玻璃[28-29]。通过北方（草原）丝绸之路，中亚和西亚经过中国东北地区与朝鲜半岛和日本相连接[30-31]。

2）西北（沙漠）丝绸之路

西北（沙漠）丝绸之路是汉通西域后中外交流的主要通道。中国新疆为西北（沙漠）丝绸之路的主要通行区域。可分南、北和新道三条路径：南路是从敦煌经鄯善（今新疆昂若羌东北）、于阗（今新疆和田）、莎车等地，越葱岭（今帕米尔高原），到大月氏（今阿姆河流域中部）、安息（波斯，今伊朗），再往西，达条支（今波斯湾）、大秦（即罗马帝国，今地中海东部一带）等；北路是从敦煌经车师前王庭（即高昌，今新疆吐鲁番）、龟兹（今新疆库车）、疏勒（今新疆喀什）等地，越葱岭，到大宛（今吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦费尔干纳盆地）、康居（今哈萨克斯坦锡尔河中游地区），再往西南，经安息，而西达大秦；以后又开辟了更北面的新

道：出了玉门关，折向西北行，经横坑、吐鲁番、车师，沿伊犁河西行，过伊宁出境，到阿拉木图，转至塔什干。

西北（沙漠）丝绸之路越帕米尔高原出境后，古时候有两个方向可行驶。向西经中亚马什哈德，去伊朗和西亚地区。向南有两道路线：① 雪山道。经过塔什库尔干出铁盖山口，沿喷赤河上游西行，至巴尔克南后，东南向越过兴都库什山，经过喀布尔、白沙瓦，进至印度的旁遮普。② 罽宾道。罽宾（Kasmira）位于喀布河下游今克什米尔一带，经过大雪山中的谷道可进入南疆（于阗）。路径为从新疆皮山西南行，经叶尔羌河上游，越过帕米尔高原的县度（今塔什库尔干西南）到罽宾，南行越过乌弋山至印度。

从图18.7可知，在西北（沙漠）丝绸之路的南路和北路以及河西走廊，古玻璃的出土地点是连续的而且分布较密。西北出土的古代玻璃，包括具有中国特色的铅钡硅酸盐玻璃和钾硅酸盐玻璃以及钠钙硅酸盐玻璃。铅钡硅酸盐玻璃到汉代已沿西北（沙漠）丝绸之路分别向东传至新疆西部和田、拜城和温宿地区。至今在中亚都未发现铅钡硅酸盐玻璃。钾硅酸盐玻璃和高铅硅酸盐玻璃在南俄波哥罗夫卡曾有出土，属公元前4世纪到公元前2世纪，认为从中国传去[32]。

从新疆古代玻璃研究中可以看到，在新疆公元前1000年的古遗址中未发现古代玻璃遗物，最早玻璃技术从西方经西北（沙漠）丝绸之路传入在西周至春秋之际（前1100—前800），如新疆克孜尔出土的玻璃。至秦汉时期传入的西方玻璃物品还不多，包括古埃及和古罗马型的低K_2O、MgO、Al_2O_3含量的钠钙硅酸盐玻璃，和两河流域高原型的高K_2O、MgO、Al_2O_3含量的钠钙硅酸盐玻璃。从丝绸之路进入中国黄河和长江中下游地区的就更少，可以看到

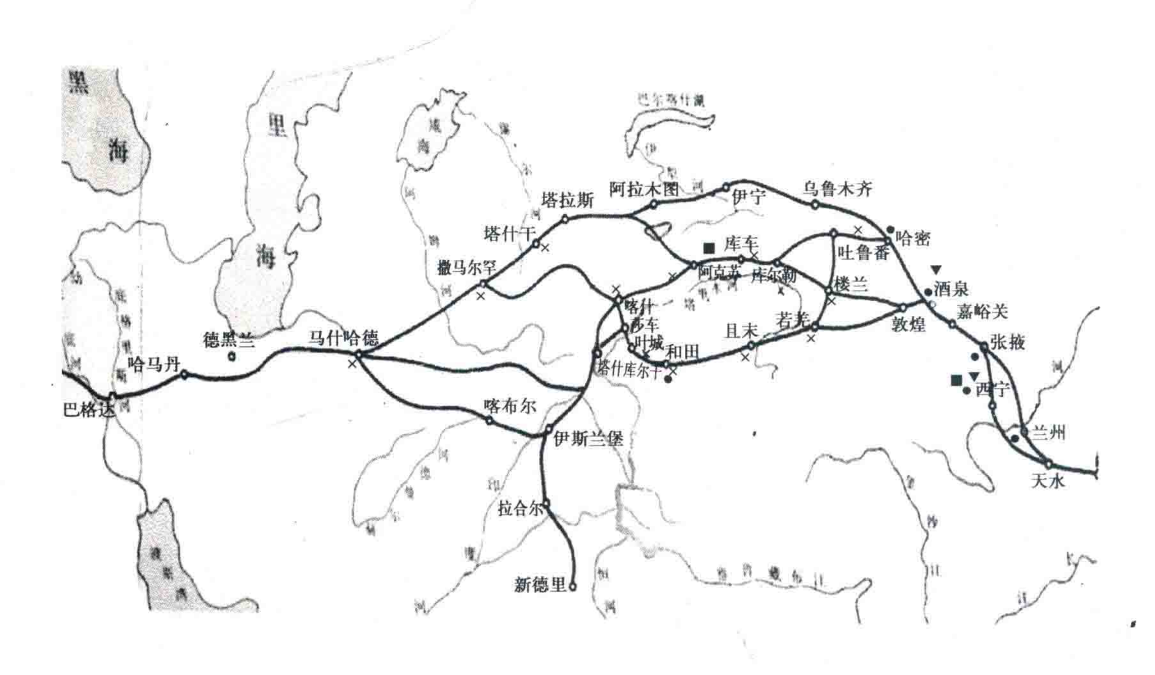


图18.7　西北（沙漠）丝绸之路以及古代玻璃的出土地点示意图

● $BaO-PbO-SiO_2$；■ K_2O-SiO_2；× $Na_2O-CaO-SiO_2$；▼釉砂

当时技术和文化交流还不甚畅通。

西亚玻璃制造技术经西北（沙漠）丝绸之路传入中国，主要通过游牧部落的迁移而非通过选点固定生产后一步步地传播，因为至今很少在中亚各地发现公元前3世纪的古代玻璃物品。从游牧部落和民族的迁移中，可以看到一些更细微的古代玻璃技术传入情况。如前所述，雅利安人在公元前16世纪可能迁徙至新疆。胡里安人（Hurrian）在西亚，于公元前20世纪就知道青铜、铁器和玻璃的制造，于公元前15世纪至公元前14世纪在西亚建立米坦尼王朝（Mitanni），于公元前13世纪移至今亚美尼亚（Armenia）地区[33]，其中对于斯基泰人（Scythian），在古波斯、印度文献中也把波斯化的斯基泰人称为萨迦、西徐亚人。波斯化的斯基泰人，汉文史籍称之为塞人。其活动的范围在今新疆伊犁地区、中亚北部七河地区、新疆阿勒泰地区及蒙古草原等。当时的塞族游牧民扮演了玻璃文化和技术的中外文化传播的开拓者的角色[34]。

中国新疆和中亚地区出土的钠钙硅酸盐玻璃大部分属汉代以后的，那时钠钙硅酸盐玻璃用吹制法制备成玻璃器皿，从西北（沙漠）丝绸之路传入，因此沿途就有不少古代玻璃的遗物和遗址，西方探险家和考古学家收集的玻璃碎片的测试结果，见文献[1]。大部分是钠钙硅酸盐玻璃，时间在东汉以后，出土于西北（沙漠）丝绸之路的南道。

3）西南（佛教）丝绸之路

据史书记载，张骞出使西域回来后向汉武帝报告，他在大夏（今阿富汗北部）见到汉代四川的邛竹杖和蜀布，这些是由身毒国（今印度）贩来的。于是汉武帝欲开通“西南夷道”，即古称“蜀身毒道”，亦称之为西南（佛教）丝绸之路。汉武帝经过11年的努力，未开拓出从西南通印度之路。从四川分四条线开道，皆不成功，而从云、贵开道，很有成效。

中印间滇缅通道在新石器时代已有文化交流，据考古学研究，如中国云南的细石器与缅甸和印度北部的有很多相似之处；云南滇池的越人有可能南迁至印度的阿萨姆地区（印度东北部），该地区用的翡翠来自云南永昌郡等[23,35]。

归纳各方面的文史资料，西南（佛教）丝绸之路（蜀—滇—缅—印）可描述如下：

这条古道的川滇段有两条途径：一是“古牦牛道”（即汉“零关道”“西夷道”，唐“清溪关道”），从成都出发，经双流、新津、邛崃、名山、雅安、荥经、汉源、越西、喜德、冕宁、西昌，到达会理县境以后，折向西南行，由黎溪的鱼鲊—拉鲊渡口过金沙江，经攀枝花市至云南大姚，最后到达大理地区。另一途，从成都出发，沿岷江而下，经彭山、乐山、犍为至宜宾，再沿秦“五尺道”（即古楚道，汉“南夷道”，隋唐“石门道”“牂柯道”）南行，经高县、筠莲，向西折入横江河谷，经豆沙关、大关、昭通、曲靖而抵昆明地区，再从昆明至大理。从大理，经缅甸，至印度的道路又有三条[36]，即汉“博南道”“永昌道”，唐“西洱、天竺道”。

现在考察西南（佛教）丝绸之路，还必须注意到从四川成都向北的延伸。蜀人是羌人的一支，是从北方迁来的。古羌族早就活动在青海东部湟水流域地区。公元前2000年以前，“由湟水流域经隆务河流域而往白龙江上游，原有一条新石器晚期居民南北相互从事经济文化交往的通道”[23]。所以，从成都北上可以从上述古道，即成都到广元，越岷山，沿白龙江下游北上至西宁，以后经“青海道”可以与西北（沙漠）丝绸之路的南道相连接。另一条北上之路，即目前的宝成铁路路线，从蜀道出，至宝鸡向西安。

对西南（佛教）丝绸之路，中外有很多文章也作了描述，但考古的证据不多。中印之间的贸易交往是间接的。最近我们比较集中地研究了中国南方和西南地区的古代玻璃[20]，以了解在这条丝绸之路上古代玻璃的分布。从秦汉时期古玻璃的化学成分的分析结果可以看到，主要为三大类玻璃，即铅钡硅酸盐玻璃、钾硅酸盐玻璃和钠钙硅酸盐玻璃，并且以前两类为主，其分布表示于图 18.8 中。表18.5列举了这些玻璃物品出土的地点和所属的年代。由此可以看到，四川、云南、贵州的古代玻璃制品大多是从黄河和长江中下游地区流传过去的铅钡硅酸盐玻璃和钾硅酸盐玻璃。西南地区出土的古代玻璃物品，从形式和纹饰上也受中国黄河和长江中下游地区特别是楚文化和技术的影响较深。西方特色的钠钙硅酸盐玻璃的出土数量不多，有可能从印度至缅甸传入，但是西南（佛教）丝绸之路面临翻越崇

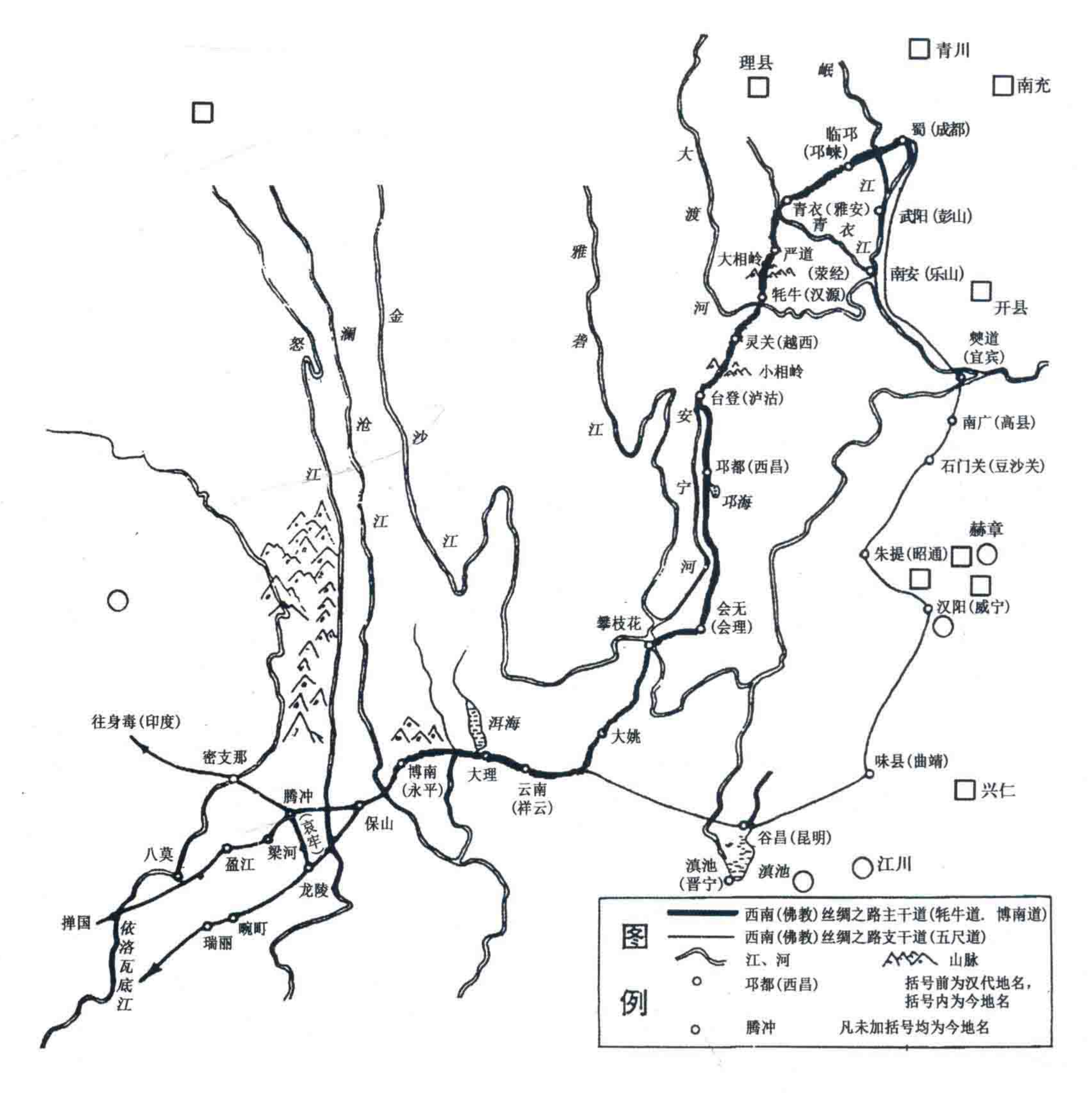


图 18.8　中国古代西南（佛教）丝绸之路及其沿线出土的东汉时期古代玻璃分布示意图

□ $PbO-BaO-SiO_2$；○ K_2O-SiO_2

山峻岭的艰难，不宜运输易碎的玻璃制品，也有可能从西北（沙漠）丝绸之路然后沿青海向南传入。

表 18.5　中国西南地区出土的 K_2O-SiO_2、$PbO-BaO-SiO_2$ 和 $Na_2O-CaO-SiO_2$ 系统古代玻璃

玻璃类型	出土地	年代
K_2O-SiO_2 玻璃	云南晋宁石寨山	西汉
	云南江川李家山	战国
	贵州威宁中水梨园	西汉
	贵州赫章可乐	西汉
	贵州清镇	汉代
$PbO-BaO-SiO_2$ 玻璃	四川南充	东汉
	四川青川	战国
	四川巴县和开县	战国
	四川理县	汉代
	贵州清镇	汉代
	贵州清镇附近平坝	东汉
	贵州赫章	战国晚期
	贵州威宁	汉代
	贵州兴仁	东汉
	贵州黔西	东汉
	重庆巴县	战国
	重庆开县	战国
$Na_2O-CaO-SiO_2$ 玻璃	四川万县（今重庆万州区）麻柳湾	东汉
	四川昭化县宝轮院	六朝
	四川巴县冬笋坝	六朝
	四川彰明常山村	六朝
	青海大通上孙家寨	汉代

印度是古老的世界文明中心之一，中印之间可能有很早的交往。史料中也有记载从印度传入琉璃、颇瓈和璧流离等，而且名称还是梵文的音译。但是印度与中国的直接来往主要是通过新疆，如上述西北（沙漠）丝绸之路中雪山道与罽宾道，特别是后者经过塔什库尔干的克什米尔—于阗古道，成为先秦时代中印交通的重要通道。早在战国时期，于阗之地已有印度移民，这也是以后中、印佛教文化来往的主要途径。古代玻璃制品应该在这条通道上有所发现，但至今由于考古发掘不够、缺乏资料，这是值得进一步考察研究的。

中国西藏与印度的交往可能也发生在先秦期间，至今尚未在西藏发现古代玻璃，因此也无法考证。但是西藏发现很多类似蜻蜓眼玻璃珠的红玉髓珠，至今还十分流行。蚀花肉红

玉髓珠最早制作于公元前1000年的两河流域，它是在以氧化硅为基质的玉髓珠上用腐蚀刻花[37]，以后流传至印度而再传入中国西藏。在云南江川李家山24号墓地其也和玻璃珠一起出土[38]，可能沿西南（佛教）丝绸之路从印度辗转传入。

4）南方（海上）丝绸之路

南方（海上）丝绸之路是古代中国与西方各国的海上通道，从南中国海、印度洋、红海经埃及古运河，由尼罗河入地中海，是贯通欧亚非三洲的海上大通道。这条海上的交通线可以分为两段：在西端，古埃及、希腊、巴比伦、腓尼基、阿拉伯、印度等民族在公元前2000年已活跃于地中海、红海、阿拉伯海和印度洋上。开始船只只是沿岸航行，以后利用季风漂洋过海。1世纪末，一位希腊人写了一本名为《厄立特里亚海周行记》的书（厄立特里亚海即为红海），书中比较详细地记录了南方（海上）丝绸之路的航行和见闻。在东端，主要从南中国海、经印度洋与阿拉伯海连接。这条航线也与东南亚地区（菲律宾、印度尼西亚、马来西亚）连接。中国人开拓这段航线要晚于印度洋以西的诸文明古国，主要的开拓工作始于西汉时期。《汉书》卷二十八下“地理志・粤地条”，具体记述了船舶出海西行路线。关于南方（海上）丝绸之路，古今中外已有不少著作做了详细论证和叙述，在此主要围绕早期古代玻璃制品和技术的交流作些介绍和讨论。

中国古代发展海上交通，始自汉武帝平越南，在南方设九郡（南海、郁林、苍梧、合浦、儋耳、珠崖、交趾、九真、日南），控制了南海沿海地区（现在的广东和广西的南部、海南岛、越南的东北部），利用南海道与西洋诸国进行交易活动。玻璃制品是文化和贸易交流中的主要物品之一。因此在南方（海上）丝绸之路的沿途皆有古代玻璃出土，但能制作玻璃的地方不多，主要在印度和中国。

古印度地区（包括现在的印度、巴基斯坦、孟加拉国和斯里兰卡等）是古代南方（海上）丝绸之路的中部，为东、西端交汇之处和集散之地，地理位置十分重要。该地区古代玻璃的情况介绍见文献[39]。印度出土最早的玻璃起始于公元前7—公元前6世纪，属于含K_2O和高的Al_2O_3含量的钠钙硅酸盐玻璃，与早期两河流域的玻璃成分接近。公元前200—公元200年，玻璃的成分为古埃及和罗马型的钠钙硅酸盐玻璃。这些古代玻璃，应该是从古代两河流域以及古埃及和罗马通过南方（海上）丝绸之路传来。印度经历了波斯帝国和亚历山大帝国的入侵，罗马帝国与印度间的贸易也十分发达。由此，西亚的大批玻璃器皿及制造技术流入印度。另有一类比较特殊的钾硅酸盐玻璃出土于哈斯蒂娜珀（Hastinapur）、阿里卡梅都（Arikamedu）和乌代盖顿（Udaygiri），时代属公元前3—公元前2世纪，出土玻璃的样品很少，至公元1世纪或更迟，出土玻璃样品就更多一些。一般认为阿里卡梅都为印度最早的玻璃制造地，从公元前3世纪持续至公元10世纪，所以，可能古代钾硅酸盐玻璃制造于印度，通过南方（海上）丝绸之路流传于各地。后面将专门讨论有关钾硅酸盐玻璃的起源和传播问题。

南方（海上）丝绸之路东端，中国商使最西到达已程不国（即今斯里兰卡或其附近）。那里的曼泰（Mantai）自1世纪起也是制造玻璃的中心。途经孟加拉湾沿岸的泰国，那里的克拉比（Kuan Luk Pat），自2—6世纪也可能生产玻璃。这些地方生产古代玻璃的技术可能都是从印度扩散过来的。

中国古代南方(海上)丝绸之路的起点为今广西合浦县和广东徐闻县,为汉至六朝的重要出海口。主要的出土玻璃物品的化学成分属钾硅酸盐系统,也有个别铅钡硅酸盐玻璃和高铅硅酸盐玻璃。玻璃物品以珠、耳珰、穿坠等小型装饰品为主,所以,都是中国有特色的玻璃物品,常见于中原、楚国和吴越等地。出土的六朝年代的玻璃物品以器皿为主,而且玻璃的化学成分属钠钙硅酸盐系统(包括不同含量的K_2O、MgO和Al_2O_3),从造型和纹饰也可以看出,大部分属外来进口的,以萨珊王朝造型的玻璃为主,详见文献[21]、[40]。

中国西南(佛教)丝绸之路虽然在崇山峻岭中,但它仍和南方(海上)丝绸之路有联系,滇西的永昌郡为交叉处。"四川等地物品,运抵永昌郡后,即顺伊洛瓦底江而下,再下缅甸转船经孟加拉湾运至南印度诸港或特罗帕尔(Tropal)等港口,然后转至大秦国(罗马)内"[40]。

18.4 古代丝绸之路对中国古代玻璃技术发展和交流的促进

各古代文明中心和各民族的文化、技术交流是相互的。中国古代玻璃技术的发展和传播也是如此。早期对中国玻璃物品的中外交流比较侧重于从造型、纹饰及艺术角度上作比较,例如玻璃璧、耳珰、玉瑱等作为仿玉器,具有中国文化特性。对秦汉时期出现的镶嵌玻璃珠的纹饰,中外有不少学者做过中国古代玻璃与西亚和埃及古代玻璃的对比分析,认为从西方传来的可能性大,也有人持相反意见[41-42]。从20世纪30年代以后,玻璃的科技考古日益发展,有可能从古代玻璃的不同的化学成分来考察中国古代玻璃技术的发展和传播。图18.9表示了中国古代玻璃技术的对外交流。

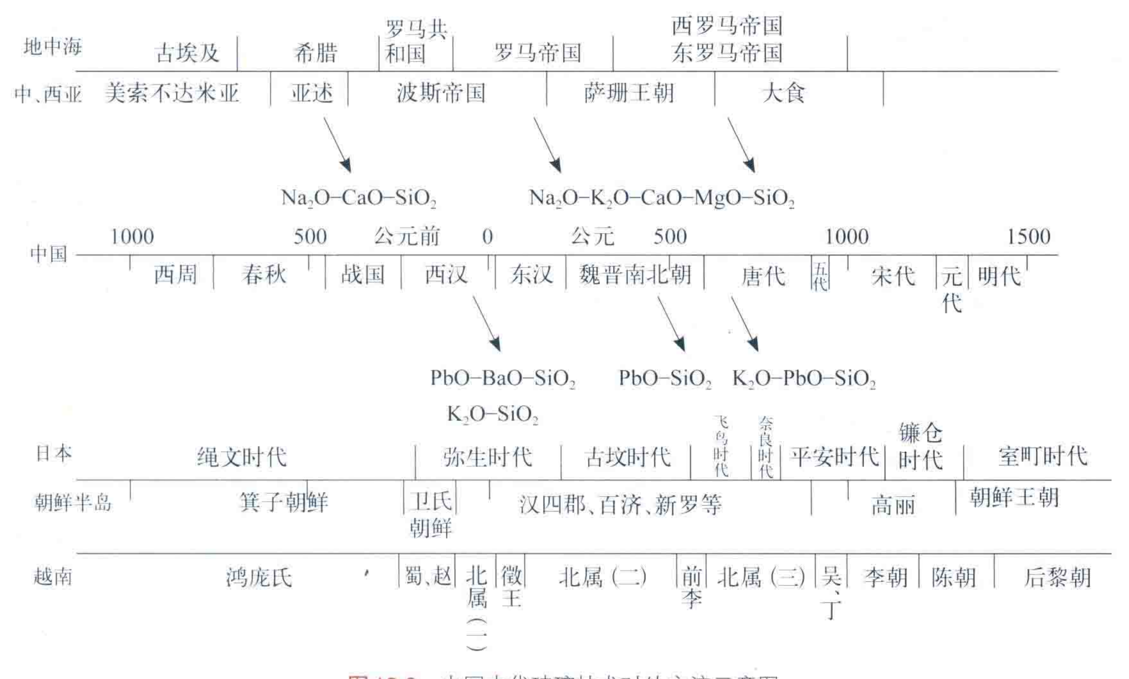


图18.9 中国古代玻璃技术对外交流示意图

18.4.1 西方古代玻璃物品和技术的传入

虽然在公元前1000年左右中外已通过丝绸之路的雏形即北方欧亚内陆草原进行来往，如前所述，中国古代玻璃已参与了这种交往和交流，如玻璃制造技术和钠钙硅酸盐玻璃传至中国新疆（即古代西域），但规模和数量还是很小的。主要的发展是在1—5世纪，当时的世界古典文明时代出现四大帝国，即东方的东汉帝国、西欧和西亚的罗马帝国、中亚的波斯（中国汉代称安息）帝国和南亚的贵霜帝国，皆处于强盛时期，丝绸之路贯穿于这四个帝国而畅通无阻，促进了中外的交往和交流。

西方古代玻璃制造技术在罗马帝国有了新的飞跃，主要是使玻璃的吹制技术得到流行，同时又发展了雕花玻璃、套色玻璃、绞丝玻璃等技术。罗马玻璃技术闻名于世，技术传至波斯帝国，特别在萨珊王朝时期发展了切割和磨花技术，形成了非常有波斯文化特色的萨珊玻璃。新兴的玻璃制造技术通过地处中亚和南亚的贵霜帝国向东传播。贵霜帝国是由在西汉初被中国北方匈奴人所驱赶的月氏人，进入中亚和南亚所建。所以，西方玻璃技术的传入是通过大月氏人。东汉以后，从大月氏人带来的物品中，琉璃为产于大秦（罗马）和安息的主要物产之一，在《后汉书・西域传》中有多处记载。这就促进了中国古代玻璃器皿制造的发展。从出土的中国古代玻璃器皿中可以看到，采用吹制技术和无模成型的最早的中国古代玻璃器皿属于魏晋、南北朝和隋代（3—6世纪），这和北方丝绸之路的开通密切相关。中国最早的进口玻璃器皿中包括如罗马的搅胎玻璃钵（江苏邗江甘泉汉墓出土）、筒形磨花玻璃杯（南京象山琅琊王墓出土）、南京幕府山玻璃杯，时代属东汉和南北朝初（1—5世纪）。出土的南北朝和隋代（5—6世纪）玻璃器皿的来源就比较复杂。有一些是造型上属罗马和萨珊玻璃的进口器皿，如辽宁北票冯索弗墓出土的鸭形器、西晋鄂城五里墩玻璃碗、北周李贤墓玻璃碗、西晋北京华芳墓玻璃碗等。广东肇庆东晋墓出土的玻璃碗与同时代的南京仙鹤观6号晋墓和山西大同北魏墓出土的玻璃碗比较，其造型同属萨珊玻璃。

盛唐时期（7—10世纪）中国与外国的交流更多更广泛。这时正值出现伊斯兰教和伊斯兰文化，同时兴起了伊斯兰玻璃。有一些大型玻璃器皿传入中国。其中最著名的是法门寺地宫出土的伊斯兰玻璃器皿（9世纪）。这些玻璃器皿在制造和装饰工艺以及图案上都体现出伊斯兰玻璃特色。最近的研究证明，这批法门寺出土的唐代玻璃器皿不论其形制和纹饰是否相同，皆属于从西方引进的。

在北方出土的北宋至辽的一些玻璃器皿属进口的伊斯兰玻璃，著名的如陈国公主墓出土的精美玻璃器皿，成分也属钠钙硅酸盐玻璃系统。

西方制造玻璃器皿的吹制技术和化学稳定性比较高的钠钙硅酸盐玻璃成分的引入，促进了中国自制玻璃技术的提高。采用西方的钠钙硅酸盐玻璃的化学成分，也用吹制法制造出具有中国造型特色的玻璃器皿。南北朝和隋代属于刚开始引进罗马和波斯的玻璃制造技术，所以，这类玻璃器皿还不多，质量还不够好，如李静训墓（隋代）出土的绿扁瓶、无颈瓶等，河北定县北魏塔墓的葫芦瓶、玻璃杯等。其他比较突出的是郧县李泰墓出土的细颈玻璃瓶等，其形状为中国式的，但是成分为钠钙硅酸盐玻璃，属在中

国境内制造；而在黄河和长江中下游地区及南方的玻璃器皿，大部分为用吹制技术制造的由中国自己开发的铅硅酸盐玻璃。可以看到，国人已较好地掌握了外来技术，生产出有中国特色的玻璃器皿。

东汉至唐代进口古代玻璃器皿的化学成分见表18.6。

表 18.6 东汉至唐代进口古代玻璃器皿的化学成分 (%)

出土地点	年代	玻 璃	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	CuO	MnO	类型	文献
江苏邗江墓	东汉	搅胎玻璃钵	64.79	3.44	1.30	7.66	0.61	0.88	18.18	0.03	2.45	罗马玻璃	[50]
南京幕府山	东晋	玻璃杯（淡黄色）	67.70	3.43	0.58	6.05	0.94	0.45	19.23	0.02	1.63		[50]
辽宁北票冯索弗墓	北燕	玻璃钵（浅绿）	64.82	2.72	0.82	6.14	2.35	4.43	16.02	0.02	0.08	萨珊玻璃	[50]
山西鄂城五里墩	西晋	玻璃碗	64.22	1.64		9.19	3.21	3.59	17.51	0.02	0.04		[51]
北京华芳墓	西晋	玻璃碗	64.33	1.24	0.26	7.25	2.45	4.19	16.03				[51]
广东肇庆坪石岗	东晋	玻璃碗	65.0	2.0	1.0	9.0	2.0	4.0	17.0				[52]
陕西法门寺	唐	蓝琉璃瓶残片	62.86	2.79	1.7	7.43	3.07	2.90	15.35	0.38		伊斯兰玻璃	[53]
		浅黄直筒琉璃杯残片	65.11	2.63	0.35	5.75	5.45	3.58	15.08		1.35		[53]
湖北郧县李泰墓	唐	绿色高颈玻璃瓶	61.58	1.66	0.69	6.27	6.43	3.53	17.86				[50]

18.4.2 中国古代玻璃和技术的对外传播

与中国最邻近的国家和地区为越南、日本和朝鲜半岛等，先秦时期已有来往。新石器晚期（公元前5000年），比如浙江河姆渡文化先传至沿海岛屿如舟山。文化遗物如段石锛、彩陶纹和涂漆陶器在日本绳文时代早期（公元前800年）遗址已有所发现。在中国南方，中国百越民族中南越人也与东南亚岛屿上居民有所来往。《尚书 · 大传》和《论衡》中已讲到周成王时已与日本、越南联络[45]。《汉书 · 地理志》记载，殷末周初，“箕子去之朝鲜，教其民以礼、乐、田、蚕、织、作”。到秦汉时期这种来往更多。至汉代日本和朝鲜半岛已有使节来华。下面分别讨论具有中国特色的古代玻璃如铅钡硅酸盐玻璃、钾硅酸盐玻璃、高铅硅酸盐玻璃，先后传至日本、朝鲜半岛和越南的情况。

1）铅钡硅酸盐玻璃（$PbO-BaO-SiO_2$）

铅钡硅酸盐玻璃是最具中国特色的古代玻璃。表18.7列举出日本、朝鲜半岛、越南和中国出土的最早的铅钡硅酸盐玻璃的化学成分。

表18.7　日本、朝鲜半岛、越南和中国出土的古代铅钡硅酸盐玻璃化学成分

出土地点	年　代	玻璃	玻璃化学成分(%)										文献
			SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	PbO	BaO	CuO	
中国长沙	前400—前200	云纹玻璃璧	36.57	0.46	0.1	3.72	2.1	0.21	0.15	44.71	10.1	0.02	[54]
朝鲜半岛	前100—公元300	绿色玻璃珠	39	0.43	0.06	3.35	3.69	0.4	0.16	37.5	14.12	0.84	[55]
日本须玖冈本	前100—公元100	管状玻璃珠	38	0.35	0.19	3.90	1.1	0.51	0.29	36.5	14	8.78	[46]
日本吉野里	前100—公元100	玻璃管饰	41.2	0.46	0.25	6.82	0.42	0.27	0.06	35.72	11.43		[56]
越南沙萤	公元100年	玻璃珠	Si 13.7	Mn 7.12	Ni 16.37	Cr 4.86	Ca 8.67		Fe 12.67	Pb 11.41	Ba 21.48	Cu 6.9	

日本最早的玻璃发现于弥生时代(前2—公元3世纪)的晚期。中国铅钡硅酸盐玻璃传入是比较早的,日本九州佐贺县吉野里和富岗县春日市须玖冈本出土的铅钡硅酸盐玻璃皆为弥生时代中期(前100—公元100),墓葬的年代都处于中国汉代(前100—公元100)[46]。日本玻璃珠饰的形式和化学成分与中国长沙战国和西汉楚墓的玻璃十分相似。

中国古代玻璃主要通过陆路传入朝鲜半岛。现已发现出土于公元前1世纪至公元3世纪的铅钡硅酸盐玻璃珠。在朝鲜半岛的出土玻璃的年代早于日本,可以认为从中国传至朝鲜半岛并经过对马海峡传至日本[47]。

越南在东山、沙萤、同奈等地出土了不少古代玻璃物品,大都为玻璃珠,也有玻璃耳珰、手镯等。最早的古代玻璃的年代推至公元前4—公元前3世纪,但从光谱分析的结果来看,Al_2O_3的含量很高,Na_2O、K_2O和CaO含量很低(<3%),可能为玻砂和釉砂。出土的玻璃制品往往属沙萤晚期(前100—公元100)。玻璃成分比较多,有含铅、钡的硅酸盐玻璃。所以,此时中国西汉的铅钡硅酸盐玻璃已流入越南。

由上述分析可知,铅钡硅酸盐玻璃在日本、朝鲜半岛和越南,都属于这些地方早期的古代玻璃,出现的年代晚于中国,玻璃的形式和化学成分十分相似于中国古代铅钡硅酸盐物品。所以,从中国传入是肯定的。

2) 高铅硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃($PbO-SiO_2$, $K_2O-PbO-SiO_2$)

中国高铅硅酸盐玻璃很早出现在战国时期,个别的出土样品属春秋时期。以后逐渐演变为钾铅硅酸盐玻璃,大量生产于六朝和隋代。朝鲜半岛的高铅硅酸盐玻璃出现于公元前100年至公元100年,相当于中国东汉时期;而钾铅硅酸盐玻璃出现于4—6世纪,那时已有向中国朝贡的多次来往,钾铅硅酸盐玻璃制品也因此传入[48]。

日本出土的高铅硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃的年代比较迟,分别为6—7世纪和12—14世纪。可能由南方(海上)丝绸之路从中国传去[49]。越南出土的钾铅硅酸盐玻璃年代更迟,于16—18世纪。所以,中国出土的高铅硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃的年代要比邻近

国家早得多,从中国流传出去高铅和钾铅硅酸盐玻璃是可以理解的。

· 世界上中国出土高铅硅酸盐玻璃不是年代最早的。美索不达米亚地区尼姆罗特(Nimrud)出土的高铅硅酸盐玻璃的年代约在公元前6世纪[49],产生的年代早于中国,但是以后即少出现。古印度也有含铅玻璃的发现,年代与中国相当。表18.8列举出日本、朝鲜半岛、越南、印度和中国出土的古代高铅硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃的化学成分。

表18.8　日本、朝鲜半岛、越南、印度和中国出土的古代高铅硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃的化学成分

出土地点	年　代	玻　璃	玻璃化学成分(%)									文献
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	PbO	K_2O	Na_2O	CuO	
中国河南洛阳	前400—前200	玻璃珠	18.2					74.0		3.30		[57]
中国辽宁朝阳	600—900	玻璃珠	26.32		0.16	0.13	0.1	50.31	10.09	0.29	0.13	[54]
日本奈良	600—700	玻璃器皿	25.0	0.1	0.1	0.06	—	74.2	0.2	0.2	0.05	[58]
日本九州 Kyushu	1200—1400	玻璃器皿	30.5	—	—	—	—	59.9	8.37	0.14	0.38	[59]
朝鲜半岛 Tahori	前100—公元100	玻璃珠	26.80	0.27	0.13	0.05	0.06	72.2	0.09	0.01	0.26	[55]
朝鲜半岛 Kampi	300—400	玻璃珠	53.81	0.34	0.24	0.61	0.12	31.0	13.0	0.80	0.02	[60]
越南 Lamson	1600—1800	玻璃碎片	55~56	—	—	3.6~3.8	—	27~29	7.3~9.6	2~2.5	—	
印度	前400—前300	玻璃碎片	39.78	2.45	—	2.81	—	38.9	0.87	10.02	—	[61]
美索不达米亚 Nimrud	前700—前500	玻璃碎片	39.50	4.35		4.40		22.8	1.43	9.71		[55]

含铅玻璃中的铅同位素分析是判断古代玻璃产地的有效方法。根据美国康宁玻璃博物馆多年来对各地和各个年代的古代玻璃的铅同位素分析结果,布里尔指出中国古代玻璃的铅同位素比值$^{208}Pb/^{206}Pb$与$^{207}Pb/^{206}Pb$的分布区别于其他地区含PbO玻璃和其他文物,处于分布图的高值和低值两端。中国大部分含PbO的古代玻璃的$^{208}Pb/^{206}Pb$值在2.1~2.2间;$^{207}Pb/^{206}Pb$值在0.85~0.9间,而日本出土的含PbO硅酸盐玻璃的铅同位素比值也在其中。把中国铅矿和发掘出的中国古代含PbO玻璃的铅同位素比值$^{208}Pb/^{206}Pb$与$^{207}Pb/^{206}Pb$的位置放在一起,可以看到,南方铅矿的铅同位素比值比北方的低。中国古代含PbO玻璃的铅同位素比值的位置皆在中国铅矿区域内,而且集中在中部。中国最早的含PbO玻璃大都出土于中国的中部,这明显地与该地区有丰富的铅矿密切相关。所以,可以推断,中国的含PbO玻璃,包括铅钡硅酸盐玻璃、高铅硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃,皆产生于中国黄河和长江中下游

地区，以后向邻近地区，如东亚、东南亚、南亚和中亚扩散。

关于古代钾硅酸盐的起源，是目前玻璃考古界还有争议的问题。大家公认在古代两河流域以及古埃及和罗马，没有生产过K_2O含量很高（>10%）、Na_2O含量较低（<1%）的钾硅酸盐玻璃。而在印度出土过公元前3—公元前2世纪的钾硅酸盐玻璃，认为阿里卡梅都（Arikamedu）为玻璃生产地，由此靠海上交通传播至东南亚以及日本、朝鲜半岛[30]。自从20世纪80年代在广西合浦出土了大批年代属于汉代（前200—公元100）的钾硅酸盐玻璃珠饰后，就注意到钾硅酸盐玻璃在中国的起源[21]。最近的玻璃科技考古的资料表明，中国出土的最早的钾硅酸盐玻璃珠饰属战国时期（表18.9），两汉时期钾硅酸盐玻璃珠饰往往和铅钡硅酸盐玻璃一起墓葬。中国出土的钾硅酸盐玻璃的年代最早，目前出土的古代玻璃文物最多，从广西合浦海上传播至各地的可能性也较大。但更清楚地说明古代钾硅酸盐玻璃的起源，还有待科技考古工作的深入。

表18.9　日本、朝鲜半岛、越南、印度和中国出土的古代钾硅酸盐玻璃的化学成分

出土地点	年　代	玻　璃	玻璃化学成分（%）									文献
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	CuO	PbO	
中国广西	前200—公元100	玻璃珠	81.2	2.69	0.65	1.0	0.49	12.16	0.79	0.36	0.3	[62]
朝鲜半岛重阳洞	公元100年	蓝色透明珠	73.47	3.48	2.38	1.42	0.42	14.9	0.89	0.62	0.01（BaO 0.3）	[55]
朝鲜半岛釜山	公元300年	蓝色玻璃珠	77.32	1.36	1.89	1.16	0.32	17.6	0.36	0.04	BaO 0.27	[55]
日本	前100—公元200	玻璃珠	75.4	2.7	0.8	<1.5	<1.5	17.9	<1.5	MnO 1.0	—	[58]
日本岗山	300—400	蓝色透明珠	76.94	4.40	0.83	0.38	0.17	14.7	0.62	1.4	0.05	[63]
越南沙萤	前100—公元200	玻璃珠	主要	0.6~1.3	0.2~1.3	2.8~7	0.5~0.8	18~22	0.22	—	—	[48]
印度Akikamedu	公元100年或更后	玻璃珠为主	76~78	2~4	—	1~4	<1	13~19	<1	—	—	[55]，[61]

综上所述，在中国境内从北至南有四条丝绸之路的通道。某一时期的进口玻璃器皿的路线是随当时的政治和地理形势而异的。总的来讲，战国和两汉时期西北（沙漠）丝绸之路为主要进口玻璃的通道，当时以玻璃珠和饰物为主，易于携带。中国长江流域地区的有中国特色的铅钡硅酸盐玻璃珠和高铅硅酸盐玻璃珠饰也由西北（沙漠）丝绸之路向西传播，至少已达新疆的西端。中亚地区有否铅钡硅酸盐玻璃出土，是今后值得注意的。

东汉以后，南方（海上）丝绸之路开通，所以隋、唐、宋及以后，中国玻璃器皿进口主要通过海上，从南方上岸后运至黄河和长江中下游地区，特别是易碎的大型的玻璃器皿。中国古代的铅钡硅酸盐玻璃、钾硅酸盐玻璃和钾铅硅酸盐玻璃制品也是从南方（海上）丝绸之路传

至东亚、东南亚和印度。

· 西南(佛教)丝绸之路早于北方(草原)丝绸之路和南方(海上)丝绸之路,这是中国西南与印度联络的主要通道。汉通西域前已有来往,史料中也有记载从印度传入琉璃、璧流离等。从历史地理的角度来看,除西南(佛教)丝绸之路外,从印度至中国可以从西部罽宾道进入新疆和田;从印度北部经中国西藏,沿目前的新藏公路进入青海,到达青海的湟中。更多地对西南(佛教)丝绸之路上的古代玻璃的了解,需要对印度,中国西藏、青海、云南、四川、贵州等地出土的早期古代玻璃作进一步的研究。

参考文献

[1] Brill R H.抛砖引玉:2005上海国际玻璃考古丝绸之路古玻璃专题研讨会开幕词[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海:复旦大学出版社,2007:30-48.

[2] 张平.中国北方和西北的古代玻璃技术[C]// 干福熹,等.中国古代玻璃技术的发展.上海:上海科学技术出版社,2005:166-182.

[3] 张平.新疆玻璃考古新资料的研究略述[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海:复旦大学出版社,2007:111-126.

[4] 于志勇.尼雅遗址出土的玻璃器及其相关问题[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海:复旦大学出版社,2007:96-111.

[5] 王博,鲁礼鹏.扎滚鲁克和山普拉古墓出土古玻璃概述[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海:复旦大学出版社,2007:126-139.

[6] 李文瑛.新疆营盘墓地出土的玻璃器介绍[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海:复旦大学出版社,2007:139-145.

[7] 李强.浅议19世纪末—20世纪初外国探险家在新疆发现的古代玻璃[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海:复旦大学出版社,2007:145-151.

[8] Li Qinghui, Gu Donghong, Gan Fuxi. Chemical composition analyses of ancient glasses found in Xinjiang, China[C]//Proceedings of 20th International Congress on Glass, Kyoto, 2003, 15-004.

[9] 干福熹,李青会,顾冬红,等.新疆拜城和塔城出土的早期玻璃珠的研究[J].硅酸盐学报,2003(31):663-668.

[10] 潜伟,张平,李前懋.新疆克孜尔水库出土玻璃珠的分析与研究[C]// 万辅彬,巴莫尔.2000年西昌第五届论文集.南宁:广西民族出版社,2001:138-145.

[11] Zhangbing, Cheng Huansheng, Ma Bo, et al. PIXE and ICP-AES analysis of early glass unearthed from Xinjiang(China)[J]. Nuclear Instrument and Methods in Physics Research, 2005:B 240:559-564.

[12] 李青会,干福熹,张平,等.新疆不同历史时期玻璃器的化学成分分析报告[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海:复旦大学出版社,2007:151-170.

[13] 任晓燕.浅谈青海发现的汉代玻璃器[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海:复旦大学出版社,2007:170-176.

[14] 史美光,周福征.青海大通县出土汉代玻璃的研究[M]// 青海省文物考古所.上孙家寨汉晋墓.北京:文物出版社,1993:250-254.

[15] 杜玉冰,吴小红.宁夏地区南北朝至唐代古代玻璃概况及相关问题[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海:复旦大学出版社,2007:181-186.

[16] 原州联合考古队.北周田弘墓[M].东京:勉诚出版株式会社,2000.

[17] 安家瑶.北周李贤墓出土的玻璃碗：萨珊玻璃的发现与研究[J].考古,1986(2)：173-182.
[18] 黄雪寅.散落于内蒙古草原上的古玻璃器[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海：复旦大学出版社,2007：186-192.
[19] 李飞,李青会,干福熹,等.一批中国古玻璃化学成分质子激发X射线荧光分析[J].硅酸盐学报,2005,33(5)：581-586.
[20] 干福熹.中国南方古玻璃研究：2002南宁中国南方古玻璃研讨会论文集[M].上海：上海科学技术出版社,2003.
[21] 熊昭明,李青会.广西出土汉代玻璃器的考古学与科技研究[M].北京：文物出版社,2011.
[22] 黄新亚.丝绸文化：沙漠卷[M].杭州：浙江大学出版社,1995：1-46.
[23] 石云涛.早期中西文交通交流史稿[M].北京：学苑出版社,2003：35-112.
[24] 何芳川,万明.古代中西文化交流史话[M].北京：商务印书馆,1998.
[25] 斯塔夫里河诺斯.全球通史：上册[M].吴象婴,梁赤民,译.上海：上海社会科学院出版社,1999：149-158.
[26] 林梅村.吐火罗人的起源与迁徙[J].西域研究,2003(3)：9-16.
[27] 王治来.中亚通史：古代卷(上)[M].乌鲁木齐：新疆人民出版社,2004：58-63.
[28] 马文宽.辽墓辽塔出土的伊斯兰玻璃[J].考古,1994(8)：736-743.
[29] 内蒙古自治区文物考古研究所.辽陈国公主驸马合葬墓发掘简报[J].文物,1987(11)：4-24.
[30] Lee In-Sook. The silk road and ancient Korean glass[J]. Korea Culture, 1993, 14(4)：4-13.
[31] 侯江波,林杰.试论古代“东北丝绸之路”的特点及其现实意义[J].辽宁丝绸,2000(4)：27-30.
[32] Mark E Hall, Leonid Yabbonsky. Chemical analyses of Sarmatian glass beads from Pokrovka[J]. Russia. J. Archaeological Science, 1998(25)：1239-1245.
[33] Engle A. Glassmaking in China[J]. Reading in Glass History, 1976(6/7)：1-38.
[34] 纪宗安.丝绸之路与中西经济文化交流[J].暨南学报：哲学社会科学,1994,16(3)：67-75.
[35] 李学勤.商代通向东南亚的道路：学术集林(卷1)[M].上海：上海远东出版社,1994.
[36] 江玉祥.古代西南丝绸之路的研究：第二辑[M].成都：四川大学出版社,1995.
[37] 夏鼐.考古学论文集.我国出土的蚀花的肉红石髓珠[M].石家庄：河北教育出版社,2002：569-578.
[38] 云南省博物馆.云南江川李家山古墓群发掘报告[J].考古学报,1973(2)：97-156.
[39] 干福熹.东方古代玻璃的发展[C]// 干福熹,等.中国古代玻璃技术的发展.上海：上海科学技术出版社,2005：52-59.
[40] 王伟昭,熊昭明,李青会,等.广西合浦县出土汉代玻璃器的检测和研究[C]// 干福熹.丝绸之路上的古代玻璃研究.上海：复旦大学出版社,2007.
[41] 张毅.南方丝绸之路与海上丝绸之路[M]// 江玉祥.西南丝绸之路研究：第二辑.成都：四川大学出版社,1995：64-73.
[42] 安家瑶.镶嵌玻璃珠的传入及发展[C]//[佚名].十世纪前的丝绸之路和东西文化交流——沙漠路线考察乌鲁木齐国际讨论会文集.北京：新世界出版社,1996：351-367.
[43] 李青会,周虹志,贵教珍,等.一批中国古代镶嵌玻璃珠化学成分的检测报告[J].江汉考古,2005(4)：73-79.
[44] 干福熹,等.中国古代玻璃技术的发展.上海：上海科学技术出版社,2005：241-252.
[45] 刘迎胜.丝绸之路：海上卷[M].杭州：浙江人民出版社,1995.
[46] 山崎一雄.中国古代玻璃与日本弥生时代古墓中出土的玻璃之间的关系[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社,1986：47-52.
[47] 由水常雄,棚桥淳二.东洋のかブス[M].东京：株式会社三新社,1977.
[48] Koezuka T, Yamasaki K. Investigation of some K_2O-PbO-SiO_2 glasses found in Japan— a historical survey[C]//Proceedings of 17th International Congress on Glass, Beijing. Chinese Cer. Soc., 1995(6)：469-474.

[49] Caley E R. Analysis of ancient glasses[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1962: 83–85.
[50] 安家瑶.中国早期(西汉—北宋)玻璃器皿[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社,1986：86–104.
[51] 中国建筑材料科学研究总院,清华大学,中国社会科学院考古研究所.中国早期玻璃器检验报告[J].考古学报.1984(4)：449–457.
[52] 邱立城.广东发现的古代玻璃器[C]// 干福熹.中国南方古代玻璃学术讨论会论文集.上海：上海科学技术出版社,2003.
[53] 韩伟.法门寺地宫伊斯兰琉璃初探[C]//[佚名].十世纪前的丝绸之路和东西文化交流——沙漠路线考察乌鲁木齐国际讨论会.北京：新世界出版社,1996：393–402.
[54] 史美光,何欧里,吴宗道,等.一批中国古代铅玻璃的研究[C]// 干福熹.中国古玻璃研究：1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集.北京：中国建筑工业出版社,1986：5–9.
[55] Brill R H. Chemical analysis of early glasses[M]. New York: The Corning Museum of Glass, 1999.
[56] 安家瑶. 中国古代玻璃与日本吉野里的玻璃管饰：中国考古学论丛[M].北京：科学出版社,1993：415–421.
[57] 袁翰青.我国化学工艺史的制造玻璃问题[C]// 中国化学学会.1957年度报告会论文摘要,1957：80–81.
[58] Koezuka T, Yamasaki K. Chemical composition of ancient glasses found in Japan— a historical survey[C]// Proceedings of 17th International Congress on Glass, Beijing. Chinese Cer. Soc.,1995(6)：469–474.
[59] Koezuka T, Yamasaki K. Investigation of some K_2O–PbO–SiO_2 glasses excavated in Japan[C]//Proceedings of 18th International Congress on Glass, San Franciaco. The Amer. Cer. Soc., 1998.
[60] Lee In-Sook. The silk road and ancient Korean glass[J]. Korea Culture, 1993, 14(4)：4–13.
[61] Lal B B. Examination of some ancient Indian glass specimens[J]. Ancient India, 1952(8)：17–27.
[62] 史美光,何欧里,周福征.一批中国汉墓出土钾玻璃研究[J].硅酸盐学报,1986,14(3)：307–313.
[63] Bair D L. A history of glass in Japan[M].[S. l.]：Kodanasha Intern. Ltd.,1973.

附录　无损分析方法测试中国古代玻璃的化学成分及测试结果

刘　松

近10年来在发展无损分析方法和改进测试设备的基础上，测试了700余件各时期的和不同地区的古代玻璃器。现将整理出的测试结果列出如下，并附相应的文献说明，供读者参考应用和深入研究。

A. 无氦气保护的外束质子激发X射线发射分析（PIXE）

A.1　一批中国南方和西南地区出土的古代玻璃[1]

表1　广东出土古代玻璃样品的化学成分　（%）

编号	出土玻璃	年代	SiO_2	PbO	BaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	K_2O	Cr_2O_3	CuO	MnO	P_2O_5	SO_3
GD01	广东肇庆市松山蜻蜓眼眼部白色部分	战国	54.41	11.82	9.87	14.37	2.72	2.03	0.07	2.98	0.00	0.13	0.01	0.53	1.07
GD01	广东肇庆市松山蜻蜓眼蓝色基体	战国	49.95	18.58	15.82	9.01	1.43	2.87	0.00	1.81	0.03	0.06	0.00	0.45	0.00
GD01	广东肇庆市松山蜻蜓眼眼部蓝色部分	战国	49.39	19.95	13.47	8.70	1.84	4.34	0.00	1.34	0.04	0.09	0.03	0.82	0.00
GD02	广东徐闻华建糖厂M12深蓝玻璃珠（大）	汉代	81.68	0.00	0.12	3.70	1.44	1.03	0.15	10.39	0.00	0.03	1.33	0.00	0.14
GD02	广东徐闻华建糖厂M12深蓝玻璃珠（小）	汉代	81.49	0.00	0.20	4.30	1.57	0.79	0.15	9.71	0.01	0.06	1.56	0.00	0.15
GD05	广东肇庆市坪石岗玻璃器	东晋	80.33	0.00	0.00	1.87	1.13	11.68	0.10	4.13	0.06	0.02	0.03	0.19	0.47
GD04	广东汕头合浦区斧头山浅蓝玻璃发簪（长）	明代	66.25	0.04	0.00	5.51	0.30	10.54	0.22	16.39	0.00	0.68	0.00	0.00	0.07
GD03	广东汕头合浦区斧头山浅蓝玻璃发簪（短）	明代	65.93	0.01	0.03	5.60	0.32	10.58	0.21	16.45	0.04	0.67	0.00	0.00	0.17

表2　四川出土古代玻璃样品的化学成分　（%）

编号	出土玻璃	年代	SiO_2	PbO	BaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	K_2O	Cr_2O_3	CuO	MnO	P_2O_5	SO_3
M40：1	四川南充东站M40：1深蓝玻璃耳珰	东汉	53.13	24.55	17.93	2.17	0.40	0.99	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05	0.73	0.00
	出土地点不详白色玻璃珠	清代	58.00	30.89	0.07	1.04	0.18	0.00	0.05	8.90	0.00	0.00	0.04	0.84	0.00
M27：2	四川南充东站M27：2深蓝玻璃耳珰	东汉	54.10	22.80	16.63	3.41	0.59	1.74	0.00	0.27	0.00	0.04	0.15	0.27	0.00
M27：4	四川南充东站M27：4浅蓝玻璃耳珰	东汉	52.86	22.85	16.75	3.23	0.94	2.04	0.00	0.45	0.03	0.12	0.28	0.45	0.00

（续表）

编　号	出土玻璃	年代	SiO_2	PbO	BaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	K_2O	Cr_2O_3	CuO	MnO	P_2O_5	SO_3
M27：3	四川南充东站M27：3深蓝玻璃耳珰	东汉	86.00	0.00	0.30	3.13	2.19	0.86	0.14	5.57	0.03	0.02	1.60	0.02	0.16
M13：15	四川青川郝家坪M13：15蜻蜓眼黑色基体	战国	54.72	25.16	11.82	3.05	0.44	1.27	0.00	0.47	0.04	2.54	0.00	0.50	0.00
M13：15	四川青川郝家坪M13：15蜻蜓眼眼部绿色部分	战国	47.83	31.31	11.69	2.75	0.63	1.01	0.00	0.68	0.00	0.89	0.00	0.00	3.22
M13：15	四川青川郝家坪M13：15蜻蜓眼眼部黄色部分	战国	35.21	35.40	9.82	9.14	2.59	1.11	0.00	0.94	0.05	0.12	0.06	0.05	5.52
M13：15	四川青川郝家坪M13：15蜻蜓眼点线部分	战国	50.07	28.87	12.27	2.63	0.44	1.26	0.00	0.64	0.09	2.78	0.00	0.16	0.80
M13：16	四川青川郝家坪M13：16蜻蜓眼眼部绿色部分	战国	49.72	30.32	11.46	2.29	0.60	1.07	0.00	0.66	0.00	1.00	0.00	0.55	2.33
M13：16	四川青川郝家坪M13：16蜻蜓眼眼部黄色部分	战国	42.29	33.72	11.40	5.05	1.63	1.09	0.00	0.61	0.00	0.39	0.03	0.37	3.42
M13：16	四川青川郝家坪M13：16蜻蜓眼眼部黄色部分	战国	34.49	37.35	10.85	7.24	2.60	1.27	0.00	0.74	0.03	0.22	0.02	0.36	4.83
M13：16	四川青川郝家坪M13：16蜻蜓眼黑色基体	战国	53.46	25.72	12.25	2.99	0.39	1.14	0.00	0.44	0.01	2.86	0.00	0.73	0.00

表3　贵州出土古代玻璃样品的化学成分　（%）

编　号	出土玻璃	年　代	SiO_2	PbO	BaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	K_2O	Cr_2O_3	CuO	MnO	P_2O_5	SO_3
GZH-2	贵州赫章可乐M91玻璃珠	战国晚期	58.10	19.71	9.14	6.10	1.88	1.14	0.00	0.60	0.00	0.58	0.05	1.22	1.51
GZH-3	贵州赫章可乐M87玻璃珠	战国晚期	38.76	12.73	12.44	11.74	3.85	2.04	0.00	6.41	0.00	4.13	0.00	2.29	5.63
GZH-6B	贵州清镇琊珑坝M14绿玻璃珠	汉代	51.44	27.11	12.75	5.13	0.99	0.57	0.00	0.72	0.04	0.51	0.03	0.49	0.24
GZH-7	贵州清镇琊珑坝M18蓝色耳珰	汉代	77.32	0.00	0.19	5.15	3.01	1.38	0.17	9.33	0.00	0.06	2.16	0.03	1.20
GZH-17	贵州威宁中水梨园梨M42蓝色玻璃珠（中）	西汉	77.38	0.00	0.18	6.80	1.41	0.48	0.27	10.83	0.03	0.20	1.09	0.25	1.08
GZH-17	贵州威宁中水梨园梨M42蓝色玻璃珠（大）	西汉	76.16	0.07	0.24	6.35	1.43	0.64	0.28	11.97	0.00	0.15	1.41	0.41	0.89
GZH-1A	贵州赫章可乐M38深蓝玻璃珠	西汉	81.05	0.00	0.01	3.49	0.55	0.80	0.10	10.42	0.00	2.17	1.10	0.00	0.32
GZH-1B	贵州赫章可乐M38浅蓝玻璃珠	西汉	84.68	0.00	0.00	5.55	0.76	1.05	0.11	5.37	0.01	1.52	0.60	0.00	0.36
GZH-1C	贵州赫章可乐M38绿玻璃珠	西汉	88.18	0.00	0.03	4.11	0.86	1.38	0.10	2.09	0.02	2.84	0.03	0.00	0.37
GZH-10	贵州安顺宁谷安M12玻璃珠	东汉	88.01	0.00	0.06	4.80	1.92	1.74	0.17	2.58	0.00	0.13	0.23	0.00	0.37
GZH-4A	贵州清镇中后乡六清M100白色玻璃珠	汉代	58.73	20.23	16.84	2.16	0.46	0.91	0.00	0.16	0.00	0.03	0.00	0.49	0.00
GZH-4B	贵州清镇中后乡六清M100蓝色玻璃珠	汉代	55.13	17.70	16.04	6.42	1.07	2.31	0.00	0.72	0.03	0.02	0.17	0.39	0.00
GZH-4C	贵州清镇中后乡六清M100绿色玻璃珠	汉代	54.59	25.55	14.28	2.42	0.56	1.03	0.00	0.34	0.00	0.35	0.03	0.85	0.00
GZH-5	贵州清镇芦荻乡清M56绿色玻璃羊坠	汉代	72.05	11.71	8.27	3.89	0.51	0.73	0.00	0.38	0.00	0.30	0.02	0.89	1.26
GZH-16	贵州威宁中水梨M24玻璃耳珰	新朝	54.15	24.48	15.09	2.56	0.66	2.04	0.00	0.23	0.00	0.06	0.16	0.59	0.00
GZH-9	贵州平坝金家坪平M12耳珰	东汉	52.73	16.39	14.98	9.47	1.40	3.45	0.00	0.87	0.05	0.10	0.12	0.46	0.00
GZH-14	贵州兴仁交乐M2耳珰	东汉	53.10	25.95	16.43	1.68	0.41	1.64	0.00	0.09	0.08	0.01	0.04	0.57	0.00
GZH-12	贵州黔西甘堂区黔M18蓝色玻璃小狮坠	东汉	51.35	30.84	14.25	1.33	0.42	0.36	0.00	0.14	0.01	0.47	0.00	0.84	0.00

（续表）

编 号	出土玻璃	年 代	SiO_2	PbO	BaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	K_2O	Cr_2O_3	CuO	MnO	P_2O_5	SO_3
GZH-11	贵州黔西黔M13玻璃耳珰	东汉	52.56	22.91	17.63	3.89	0.62	0.99	0.00	0.36	0.06	0.04	0.09	0.86	0.00
GZH-13	贵州黔西M18白色棱柱形玻璃珠	东汉	90.57	0.00	0.00	3.89	0.79	1.71	0.10	2.17	0.01	0.02	0.02	0.00	0.73
GZH-15	贵州兴仁交乐绿色料珠（绿松石）	东汉	6.70	0.37	0.07	46.76	0.94	0.19	0.03	0.20	0.00	7.57	0.00	36.11	1.07
GZH-6A	贵州清镇琊珑坝M14料珠（白玛瑙）	汉代	98.65	0.00	0.00	0.64	0.28	0.07	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
GZH-8	贵州普安铜鼓山遗址（白色玛瑙）	汉代	94.51	0.00	0.04	1.23	0.18	0.96	0.03	0.25	0.00	0.00	0.02	0.89	1.89

表4 四川大学博物馆馆藏古代玻璃的化学成分 （%）

馆藏号	玻 璃	年 代	SiO_2	PbO	BaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	K_2O	Cr_2O_3	CuO	MnO	P_2O_5	SO_3
42-1-95	绿色管状玻璃珠	战国晚—汉	23.08	39.27	9.10	3.44	0.56	8.08	0.00	0.72	0.00	1.28	0.00	14.43	0.05
42-1-95	绿色管状玻璃珠	战国晚—汉	9.14	42.26	10.14	2.02	0.66	12.71	0.00	0.83	0.00	1.34	0.20	19.76	0.95
42-1-94	绿色玻璃扁珠	战国晚—汉	19.76	33.83	17.17	4.55	1.99	5.39	0.00	1.10	0.05	0.54	0.00	7.72	7.90
44-18-39	深蓝玻璃耳珰	汉代	81.65	0.00	0.11	3.00	1.36	1.74	0.16	10.39	0.01	0.04	1.38	0.00	0.18
44-18-35A	四川理县黄色玻璃珠	汉代	61.93	11.80	0.07	1.48	0.40	9.98	0.05	14.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
44-18-35B	四川理县水晶白色玻璃珠	汉代	73.87	0.36	0.03	3.44	1.07	7.04	0.17	9.75	0.00	0.01	0.00	0.19	4.06
44-18-35C	四川理县深蓝色玻璃珠	汉代	63.73	0.00	1.11	5.27	0.84	10.85	0.03	12.66	0.05	0.02	0.00	0.30	5.14
44-18-36A	蓝色玻璃嵌绿白双色蜻蜓眼玻璃珠（蓝色基体）	战国—西汉	40.95	31.78	10.04	4.80	0.49	1.88	0.00	2.46	0.04	0.64	0.00	2.37	4.55
44-18-36A	上述样品眼中心黄色镶嵌物	战国—西汉	52.92	19.78	12.82	4.78	1.62	1.36	0.00	1.45	0.06	0.09	0.00	0.96	4.18
44-18-36B	黄色蚀花玻璃珠	汉晋	59.11	1.53	0.00	3.78	0.64	24.94	0.00	3.50	0.00	0.10	0.02	0.46	5.91
44-18-36C	黑色玻璃嵌绿白色蜻蜓眼及网点纹珠（黑色基体）	战国—西汉	45.53	20.45	1.18	8.35	10.51	6.51	0.30	2.47	0.00	0.58	0.07	1.05	3.00
44-18-36C	上述样品眼部绿色玻璃	战国—西汉	49.80	28.44	6.51	5.03	0.98	2.98	0.00	1.78	0.06	1.04	0.02	1.51	1.87
44-18-36C	上述样品眼部白色烧结部分	战国—西汉	47.78	32.09	3.72	5.71	1.03	3.87	0.00	1.45	0.04	1.05	0.02	1.05	2.20
44-18-36D	蓝色玻璃嵌蓝白色蜻蜓眼及网点纹珠，风化表面	战国—西汉	53.49	24.28	11.40	3.59	0.55	1.98	0.00	0.72	0.08	2.55	0.00	1.36	0.02
44-18-36D	上述样品未风化表面层	战国—西汉	44.62	41.19	0.79	4.09	0.64	2.50	0.01	0.99	0.03	4.09	0.00	1.07	0.00
44-18-36D	上述样品眼部绿色玻璃	战国—西汉	56.94	26.55	9.54	2.65	0.46	1.30	0.00	0.82	0.00	0.43	0.00	0.54	0.78
44-18-36E	黑色玻璃嵌绿白色蜻蜓眼及网点纹珠，眼部白色部分	战国—西汉	30.86	57.06	1.12	4.60	0.69	3.11	0.12	1.18	0.00	0.24	0.00	1.03	0.00
44-18-36E	上述样品黑色基体	战国—西汉	48.75	28.90	0.86	5.56	6.81	4.87	0.16	2.36	0.00	0.50	0.03	0.75	0.47
44-18-40	黄褐色枣核形玻璃珠，表面呈紫蓝色	唐以后	70.26	0.42	0.00	4.42	0.79	8.12	0.09	11.52	0.01	0.02	0.03	0.17	4.16
44-18-37	浅蓝色橄榄形玻璃珠	唐以后	69.35	0.34	0.00	2.25	0.57	13.80	0.03	11.61	0.01	0.98	0.05	0.10	0.91

（续表）

馆藏号	玻璃	年代	SiO_2	PbO	BaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	K_2O	Cr_2O_3	CuO	MnO	P_2O_5	SO_3
44-18-59	白色玻璃刀	唐—元	53.12	36.48	0.11	2.75	0.29	0.56	0.00	5.47	0.00	0.03	0.00	0.50	0.70
C/18202	白色玻璃串珠、风化重	战国	6.83	65.19	17.45	2.13	0.40	2.24	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.47	5.18
C/18202	绿色玻璃串珠	战国	26.87	46.75	4.57	3.71	1.17	5.41	0.00	0.79	0.00	1.26	0.05	9.42	0.00
44-18-38	绿色玻璃手镯	元—明	74.66	0.38	0.00	4.07	3.83	5.74	0.10	9.26	0.00	1.13	0.11	0.00	0.73
43-1-65	双鱼佩饰	宋—明	64.40	0.09	0.09	2.27	0.92	15.23	0.07	16.49	0.00	0.05	0.00	0.00	0.40
44-18-43	绿色玻璃罐	六朝—隋唐	75.32	0.24	0.00	1.15	0.23	7.76	0.00	14.79	0.19	0.12	0.04	0.00	0.16
44-18-42	玻璃簪	元—明	67.42	0.10	0.02	2.28	0.57	11.36	0.04	17.31	0.01	0.03	0.01	0.00	0.85
44-18-41	白色玉镯、非玻璃，可能是蛇纹石玉		96.27	0.00	0.00	0.00	1.24	0.50	0.07	0.43	0.00	0.10	0.05	0.36	0.99
CH/32	非玻璃制品，可能是石膏		3.27	0.51	0.00	2.59	0.53	86.96	0.00	0.13	0.15	0.00	0.07	3.02	2.77

表5　广西古代玻璃测试结果　（%）

样品号	名称	SiO_2	Al_2O_3	F_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	CuO	Cl	PbO	BaO	CoO	MnO
C_1	贵风汉青杯（西汉）	76.28	3.28	0.47	0.54	0.45	15.43	0.27	0.01					
C_2	合文淡青杯（西汉）	79.69	2.14	1.36	0.41	0.01	16.22		0.22					
C_3	合红兰杯（西汉）	73.69	5.68	0.73		0.66	16.53	1.58	0.25					0.69
C_4	合红兰杯（西汉）	74.62	5.36	0.71	0.68	0.41	16.01	1.56						0.64
C_5	贵风兰杯（西汉）	74.94	4.60	0.60	0.03	0.15	15.99	0.16	1.24					0.01
C_6	合黄兰杯（西汉）	78.29	1.99	0.56	0.12		17.28		1.67					
C_7	贵县杯													
C_8	钦州高足杯（隋）	34.92	1.57					1.43			62.1			
C_9	贵汽盘	77.70	3.17	0.70			16.80	1.62						
C_{10}	贵港无色珠（西汉）	80.71	2.25	0.43	1.22	0.19	14.17	0.23						
C_{11}	合浦兰珠（西汉）	81.20	2.69	0.65	1.0	0.49	12.16	0.79						0.36
C_{12}	合廉炮兰珠（西汉）	74.75	3.20	1.35	0.60	0.28	15.54	0.18					0.06	1.7
C_{13}	合堂兰玻璃碎片（西汉）	79.0	1.41	0.56	1.64	0.22	14.10	0.58				0.037		0.296
C_{14}	合堂兰珠（西汉）	75.80	2.74	1.20	1.30	0.35	14.50	0.21				0.092 9		0.954
C_{15}	合文酱珠（西汉）	74.84	4.37			1.06	14.20							4.03
C_{16}	合文绿珠（西汉）	77.20	5.90				15.83						1.05	
C_{17}	西林紫色小珠（西汉）	76.54	1.61		1.14		17.63							3.04
C_{18}	贵县料珠（东汉）	92.78	2.39	0.42	0.34	0.41	0.88	1.85	0.78					
C_{19}	昭平红珠（东汉）	65.90	4.13	1.12	2.15	2.83	15.88	2.48	2.25	0.46				
C_{20}	昭平椭圆珠（东汉）	83.90	2.39		1.18		11.03	1.38						
C_{21}	合浦兰珠网坠（西汉）	78.22	2.56	1.28	1.45	0.27	13.81	0.41						1.85
C_{22}	合堂兰管（西汉）	79.1	1.86	1.50	2.05	0.50	10.40	0.87				0.017		0.081
C_{23}	贵罗鼻塞	39.87			0.29			7.20	0.81		34.40	17.40		
C_{24}	贵北耳珰（西汉）	78.11	3.22	1.25		0.68	13.76	1.56						1.52
C_{25}	昭平耳珰（东汉）	55.04	1.99	0.345	2.67	2.24	0.27	5.10		1.74	22.28	8.16		
C_{26}	合兰环（合浦）	73.83	1.75		3.47	0.57	17.60							
C_{27}	合龟形器（西汉）	77.87	1.55	2.14	1.42		16.97							

表6　广东南越王墓出土玻璃的化学成分　　(%)

序号	玻　璃	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	PbO	BaO	K_2O	Na_2O	PbO_2	CoO	MnO_2
1	平板玻璃(C181)	42.62	0.18	3.79	0.43	33.73	12.83	0.05	5.01	0.09	0.04	0.06
2	平板玻璃(C211)	40.49	0.95	5.41	0.89	33.35	11.93	0.34	6.03	0.09		
3	乳白色玻璃璧(C192)	42.05	1.56	1.24	0.67	38.73	10.85	0.77	4.40	0.03		
4	三色旋当(D140)	41.0	1.71	2.74	1.2	25	21.89		5.8	0.73		

表7　广东南越王墓玻璃牌饰和玻璃贝的化学成分　　(%)

器号	名称	测点	Si	Pb	Ba	Cu	Fe	Ca	Al	Mg
D73-2	牌饰	Ⅰ	14.21	48.44	35.47	1.87				
	牌饰	Ⅱ	34.42	40.81	24.77					
	牌饰	Ⅲ	33.83	45.55	20.63					
D43	贝	Ⅰ	33.67	20.35	22.45	2.06		8.37	3.90	0.61
	贝	Ⅱ	22.45	37.14	25.96	1.99	2.33	1.92	3.00	

表8　广东南越王墓西耳室玻璃璧、玻璃珠化学成分　　(%)

器号	名称	测点	Si	Al	P	K	Na	Ca	Cu	Fe	Pb	Ba	Ti	Mg	合计
C138	蜻蜓眼珠	Ⅰ	37.45	3.44	9.83			3.96	1.58	6.44	35.20		2.09		100
		Ⅱ	39.54	4.02	10.90	0.65		2.85	1.66	5.64	33.23		1.19		100
		Ⅲ	21.10	6.23	19.37	2.25	1.59	7.16	2.48	8.03	29.22		2.57		100
C221	璧	Ⅰ	34.96	8.47	8.26			1.05	5.78		37.72	1.11		2.64	100
		Ⅱ	22.16	8.05	8.00			0.43	5.13		50.59	2.67		2.97	100
		Ⅲ	45.99	3.81	5.07			0.68	1.51		40.27	2.21		0.46	100

A.2　内蒙古和山东博山出土的古代玻璃[2]

表1　内蒙古出土的古代玻璃样品情况

编　号	年代	出 土 地	样 品 描 述
NM02-2	汉代	呼盟扎赉诺尔墓	绿色料珠
NM03-2	汉代	呼盟扎赉诺尔墓	黄色料珠
WJ-09-a(蓝色部分1) WJ-09-b(蓝色部分2) WJ-09-c(绿色部分)	西周	额济纳旗绿城	绿色玻璃小珠,外径5 mm,内径2 mm
WJ-05	北魏	察右中旗七郎山M6	黄色玻璃珠,长17 mm,外径7 mm,内径3 mm
WJ-06-a(白色玻璃珠) WJ-06-b(黑色玻璃珠中的黑色部分) WJ-06-c(黑色玻璃珠中的白色部分)	北魏	察右中旗七郎山	白色和黑色玻璃珠
WJ-07-a(白色玻璃珠), WJ-07-b(蓝色玻璃珠)	北魏	察右中旗七郎山M20	白色和蓝色玻璃珠,白色珠外径6 mm,蓝色珠外径8 mm,内径均为2 mm
WJ-01	元代	元上都南墙外	六棱柱形料珠饰件,长18 mm,宽13 mm
WJ-02	元代	元上都南墙外	六棱柱形料珠饰残件
WJ-03-a(白色玻璃珠), WJ-03-b(黑色玻璃珠)	北魏	察右中旗七郎山M20	白色和黑色玻璃珠

（续表）

编号	年代	出土地	样品描述
WJ-08-b（白色小珠）	北魏	元上都	白色玻璃珠
WJ-10	元代	元上都南墙外	蓝色菱形珠，长 16 mm，宽 9 mm
WJ-12	元代	元上都南墙外	蓝色梅花形发簪残片

表 2　内蒙古出土古代玻璃PIXE分析结果　　（%）

编号	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CoO	NiO	CuO	ZnO	BaO	PbO
NM02-2	3.22	47.91	9.19	0.43		0.49	2.91		0.03	0.02	0.37	0.02		0.26	0.04	0.08	35.04
NM03-2	3.42	57.05	4.75			0.48	1.54				0.41	0.02		0.21	0.02	0.02	32.08
WJ-09-a	3.52	84.33	0.44	1.93	0.97	1.16	0.99				0.46			6.20			
WJ-09-b	2.64	89.55	0.69	1.00	0.96	1.04	0.84	0.06			0.29			2.95			
WJ-09-c	3.35	89.07		0.86	1.56	1.31	0.48				0.18			3.20			
WJ-05	6.66	74.72	0.85	1.42	1.38	5.05	7.00	0.29	0.04	0.10	2.36	0.03		0.12			
WJ-06-a	8.44	75.70	1.42	4.44	0.95	0.70	5.19	0.30		0.09	2.55	0.09		0.14			
WJ-06-b	11.54	70.39	1.39	1.18	0.97	2.95	6.37	0.31		0.92	3.95			0.03			
WJ-06-c	11.29	69.57	3.02	1.57	0.92	1.52	6.16	0.38		0.78	4.62	0.11	0.04	0.04			
WJ-07-a	3.73	72.41	2.04	2.40	2.54	1.44	12.15	0.24	0.03	0.09	2.48	0.03		0.41			
WJ-07-b	6.47	73.29	3.15	1.13	0.50	0.76	6.92	0.26	0.02	0.22	7.26		0.01	0.03			
WJ-03-a	4.25	82.90	0.12	1.05	1.27	2.75	6.36	0.11	0.03	0.07	1.11						
WJ-03-b	4.37	82.17	0.33	1.09	1.52	2.28	5.36	0.14		0.78	1.94			0.03			
WJ-02	1.93	78.04		0.88	0.58	5.03	8.60	0.09	0.03	0.09	4.66	0.05		0.04			
WJ-08-b	4.11	76.11	0.54	1.91	2.73	6.14	8.10	0.03			0.28			0.05			
WJ-10	8.43	62.20	0.48	1.58	1.76	15.38	6.09	0.12		0.05	2.01	0.05		1.87			
WJ-12	3.70	83.18		1.67	0.42	3.50	5.60	0.08		0.02	1.11	0.02		0.72			
WJ-01	4.86	57.44	0.16	2.03	0.67	18.65	7.03	0.09		0.09	4.81	0.11	0.02	3.33			0.70

表 3　山东博山出土古代玻璃样品情况

编号	年代	出土地	样品描述	编号	样品描述
BS01	元末明初	博山大街北首	白色玻璃围棋子	BS05	白色玻璃发簪尾部
BS02		路西出土	蓝色玻璃围棋子	BS06	黑色玻璃发簪尾部
BS03			蓝色玻璃发簪	BS07	淡黄色玻璃壁
BS04			伞形绿色玻璃珠		

表 4　山东博山出土古代玻璃的PIXE分析结果　　（%）

编号	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CuO	ZnO
BS01	9.94	72.33		0.19	10.89	5.95	0.34			0.36		
BS02	6.41	69.70	0.06	0.13	14.52	8.36	0.21	0.04		0.15	0.41	0.03
BS03	8.57	71.59	0.57	4.27	5.13	7.65	0.26	0.05		0.44	1.44	0.04
BS04	9.34	63.29	0.18	0.58	16.23	8.23	0.26			0.72	1.07	0.10
BS05	9.98	69.14		0.33	11.30	8.60	0.18		0.03	0.44		
BS06	8.79	78.23		1.82	4.50	5.74	0.30			0.61		
BS07	9.17	72.02	0.42	3.09	3.56	10.67	0.38			0.69		

A.3 重庆市博物馆收藏的古代玻璃[3]

表1 重庆市博物馆馆藏古代玻璃样品情况

编号	年代	出土地	样品描述
CQ01	战国	宝成路南段	浅绿色玻璃璧，外径11.9 cm，内径3.8 cm，厚0.3 cm
CQ02-A（黑色）	战国	重庆巴县冬笋坝	黑色玻璃嵌绿白色蜻蜓眼珠，外径2.4 cm，内径1.3 cm
CQ02-B（绿色）			
CQ02-C（白色）			
CQ03-A（蓝色基体）	战国	重庆巴县冬笋坝	蓝色嵌蓝白色蜻蜓眼珠，残缺
CQ03-B（眼部浅蓝）			
SX01-A（珠1浅蓝部分）	战国	重庆开县余家坝	深蓝玻璃嵌天蓝色、白色蜻蜓眼珠，半透明~透明，外径0.8~0.9 cm
SX01-B（珠1蓝色部分）			
SX02-A（珠2浅蓝部分）			
SX02-B（珠2蓝色部分）			
CQ04-A（小端）	六朝	宝成路南段	蓝色玻璃耳珰，半透明
CQ04-B（大端）			
CQ05	六朝	宝成路彰明崖墓	蓝色玻璃耳珰，不透明
CQ06	六朝	彰明常山村M12	玻璃珠，有06（白色）、07（黄色）、08（红色）、09（褐色）珠
CQ07			
CQ08			
CQ09			
CQ10	六朝	宝成路昭化市宝轮院	各色玻璃串珠，有10（蓝色）、11（白色）、12（咖啡色）
CQ11			
CQ12			
CQ13	六朝	成渝公路	各色玻璃串珠，13（白色），14（浅蓝），15（红色）
CQ14			
CQ15			
CQ16	六朝	宝成路昭化市宝轮院M7	各色玻璃串珠，16（蓝色），17（黑色大珠），18（草绿色小珠），19（黑色小珠）
CQ17			
CQ18			
CQ19			
CQ20	六朝	宝成路昭化市宝轮院M19	黄色玻璃珠串，半透明

表2 PIXE方法测得的重庆市博物馆馆藏古代玻璃的化学成分 （%）

编号	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CoO	CuO	BaO	PbO
CQ01	9.7	48.4		7.4	4.5	2.4	0.2			1.7		0.1	6.5	19.2
CQ02-A	6.8	48.4	1.0	0.9	2.1	3.9	0.1			4.1	0.2	0.3	6.9	25.5
CQ02-B	5.8	64.8	0.7	2.9	1.9	1.7				1.4		0.4	3.7	16.8
CQ02-C	3.7	68.3	0.4	0.6	0.9	0.6				0.4		0.1	4.7	20.3
CQ03-A	7.9	34.1	29.2	1.8	1.4	1.7				2.3		1.5	8.8	11.5

（续表）

编　号	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CoO	CuO	BaO	PbO
CQ03-B	4.2	56.7	7.7		0.5	0.9		0.1		1.0		1.5	11.6	15.8
CQ04-A	2.6	91.8		0.2	2.5	1.1	0.1		0.5	1.1				
CQ04-B	4.0	88.9		1.0	2.6	1.4	0.1		0.6	1.4				
CQ05	3.0	81.5		2.4	4.8	1.2	0.5		3.4	3.0	0.2	0.1		
CQ06	1.5	97.6		0.6	0.1	0.1				0.1				
CQ07	7.31	69.7	1.6	2.3	6.2	8.4	0.5		0.2	3.8				
CQ08	0.2	98.9		0.7	0.1	0.1				0.1				
CQ09	19.3	45.4	3.3	11.1	4.2	14.2	0.3			1.9		0.1		
CQ10	4.3	76.6	0.8	1.5	4.5	9.7	0.2		0.1	1.2		1.1		
CQ11	2.1	83.4	0.7	1.7	3.6	7.4	0.1			0.8				
CQ12	3.9	78.3	1.1	2.4	4.6	7.8	0.1			1.5		0.1		
CQ13	21.7	77.1		0.3	0.1	0.1				0.8				
CQ14	21.9	77.0		0.4						0.7				
CQ15	2.1	88.2		0.7	1.9	7.0				0.1				
CQ16	4.8	79.9	0.7	0.6	9.8	1.1	0.2		0.8	1.6		0.2		0.4
CQ17	4.3	75.1	0.9	4.1	5.0	7.9	0.1		0.2	2.2	0.1	0.1		
CQ18	13.1	76.6	0.5	0.7	4.4	2.2	0.4			1.3		0.8		
CQ19	12.2	78.1	0.5	1.4	2.6	3.0	0.6		0.1	1.5		0.1		
CQ20	12.3	76.1	2.0	3.0	2.0	2.3	0.5		0.1	1.1		0.1		0.5
SX01-A	3.0	58.5	0.9		0.4	0.6		0.1		0.3		1.0	7.5	27.8
SX01-B	3.5	59.6	0.9		0.4	1.0		0.1		0.2		0.4	6.6	27.4
SX02-A	2.7	58.5	1.1		0.5	0.6				0.3		0.6	7.0	28.8
SX02-B	2.2	59.5	0.8		0.5	0.6				0.3		0.8	6.7	28.5

A.4　江苏扬州西汉墓出土的古代玻璃[4]

扬州出土古代玻璃的PIXE成分分析结果　（%）

样　品		Al_2O_3	SiO_2	P_3O_5	S	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	ZnO	BaO	PbO
HG-1	表面腐蚀层	0.78	32.16	6.90	3.08	0.07	2.15	0.02	0.81	0.02	0.03	0.68	53.32
	表面腐蚀层	2.08	26.21	6.90	0.55	<0.01	1.29	0.03	0.57	0.01	0.03	0.67	61.67
	玻璃层	2.32	42.93	0.43	2.69	0.10	0.35	0.07	0.20	0.01	0.01	16.63	34.27
	横断面腐蚀层	1.90	30.27	5.97	3.37	0.09	1.32	0.01	0.46	0.01	0.01	1.27	55.34
HG-2	表面腐蚀层	1.69	43.03	6.03	0.00	0.02	0.74	<0.01	0.43	<0.01	<0.01	0.47	47.63
	玻璃层	2.34	39.56	0.29	2.78	0.13	0.37	<0.01	0.16	<0.01	0.01	19.09	35.27
HG-3	表面腐蚀层	2.41	21.87	6.13	6.92	0.21	2.38	0.01	0.73	<0.01	0.04	1.67	57.63
	玻璃层	1.76	39.48	0.44	2.84	0.16	0.24	0.01	0.14	<0.01	<0.01	19.75	35.20

B. 原子发射光谱（AES）和PIXE组合分析以及改进型PIXE（氦气保护）

B.1 新疆拜城和塔城出土的古代玻璃[5]

表1 新疆克孜尔吐尔和塔城出土的玻璃珠情况

样品	公墓号	公墓地点	样品情况	样品	公墓号	公墓地点	样品情况
XJ-1A	90BKKM26：6	克孜尔吐尔墓	淡绿色玻璃珠	XJ-4A	90BKKM11	克孜尔吐尔墓	绿色玻璃碎片
XJ-2A	90BKKM26：6	克孜尔吐尔墓	淡黄色玻璃珠	XJ-30	91BKKM 3：9	克孜尔吐尔墓	绿色玻璃碎片
XJ-2B	90BKKM26：6	克孜尔吐尔墓	水蓝色玻璃珠	XJ-44		塔城墓	绿色玻璃碎片
XJ-3A	90BKKM 4：7	克孜尔吐尔墓	水蓝色玻璃碎片				

表2 ICP-AES和PIXE测定的新疆出土早期玻璃珠的化学成分 （%）

样品号	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	K_2O	Al_2O_3	PbO	BaO	CuO	Fe_2O_3	TiO_2	ZnO	MnO	B_2O_3	Sb_2O_5	P_2O_5
XJ-1A	63.10	18.27	5.88	5.20	2.57	1.12	0.09	0.02	0.79	0.57	0.07	0.05	0.04	0.10		1.02
XJ-2A	65.38	11.54	8.88	5.02	1.59	1.99	1.93	0.01	0.01	1.03	0.02	0.02	0.04	0.06	0.72	0.09
XJ-2B	64.31	12.05	4.80	2.67	2.42	1.36	9.01	0.008	0.001	1.10	0.07	0.02	0.02	0.22	1.60	0.34
XJ-3A	65.19	15.27	6.65	3.66	2.93	1.44	0.02	0.02	0.76	0.86	0.13	0.06	0.03	0.10		2.54
XJ-4A	66.11	14.29	6.61	4.58	2.19	1.89	0.62	0.01	0.90	1.07	0.17	0.05	0.03	0.03	1.44	
XJ-30	75.44	9.08	7.74	3.35	1.51	1.43	0.02	0.005	0.56	0.34	0.11	0.11	0.02	0.24	0.03	
XJ-44	68.88	15.93	6.11	4.03	2.20	0.87	0.02	0.005	1.10	0.56	0.04	0.05	0.08	0.10	0.01	

表3 新疆出土早期玻璃珠微量元素PIXE分析结果

样品号	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Pb
XJ-1A	104	638	6 322	86	60	13 898	349	28	3	319	0	62	15	761	19	0	1 867
XJ-2A	0	539	11 170	62	39	174	45	36	5	334	0	45	0	1 817	13	38	23 925
XJ-3A	88	709	10 887	98	49	14 057	1 321	11	0	155	5	30	14	788	17	17	325

表4 克孜尔吐尔墓地出土的早期玻璃珠的其他化学分析结果 （%）

公墓号	SiO_2	CaO	K_2O	Na_2O	MgO	Al_2O_3	PbO	BaO	ZrO_2	Fe_2O_3	CuO	Sb_2O_3
91BKKM21	73.80	7.51	5.21	4.33	6.89	0.39		0.34		1.23	0.11	0.19
91BKKM21	72.19	7.98	3.03	5.86	5.67	0.47	0.23	0.49	0.01	1.18	2.11	0.77
91BKKM2	69.30	7.95	3.29	3.76	6.56	0.06	6.37	0.01	0.02	0.73	0.26	1.70
91BKKM26	70.14	7.71	3.20	4.08	6.97			0.30		1.43	1.40	4.77
91BKKM37	82.30	5.02	0.36		5.96		0.87	0.41	1.15	1.14	2.2	0.56

B.2 广西合浦地区出土的古代玻璃

表1 2006年检测的古代玻璃样品情况

测试编号	初始编号	样品描述
XZHM06-01	风门岭03HFM26：67	六棱柱形玻璃珠残片，浅绿色，透明。中间有一2 mm穿孔，长2.5 cm左右，六方形边长0.5 cm左右
XZHM06-02	风门岭03HFM26：83	蓝色半透明玻璃珠残片，直径约0.5 cm

（续表）

测试编号	初始编号	样品描述
XZHM06-03	风门岭03HFM26：53	草绿色不透明玻璃珠残片
XZHM06-04	风门岭03HFM26：62	褐色不透明珠残片
XZHM06-05	风门岭M28：13	蓝色半透明玻璃珠残片
XZHM06-06	九只岭M5	蓝色半透明玻璃珠残片
XZHM06-07	风门岭M23B：29	蓝色半透明玻璃珠残片
XZHM06-08	风门岭M23A：30	铁褐色不透明玻璃珠残片

表2　2006年送检样品改进的PIXE测试结果　（%）

样品编号	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO	备注
XZHM06-01		0.77	3.11	89.96	0.82	0.19	2.62	1.39	0.16	0.06	0.73			
XZHM06-01	0.36	0.40	4.68	89.31		0.36	1.78	1.75			1.36			EDX
XZHM06-02	1.25	0.99	5.33	78.03	0.51	0.13	9.84	0.80	0.18	1.05	1.64	0.03		
XZHM06-03	1.12	0.69	3.85	68.53			2.81	1.28	0.09	0.02	0.94	3.03	17.60	
XZHM06-05		0.37	6.98	76.04	0.43	0.02	11.51	0.42	0.28	2.02	1.63	0.02		
XZHM06-06		0.49	4.61	80.78	0.34	0.06	9.42	0.44	0.21	1.55	1.17	0.08		
XZHM06-07		0.72	4.79	85.47	0.65	0.14	3.65	1.49	0.13	1.12	1.42	0.02		
XZHM06-08		3.10	9.54	60.04	1.04	0.22	15.95	4.21	0.57	0.14	2.14	2.81		
XZHM06-04	有机物，类似琥珀													

B.3　河南淅川徐家岭墓地出土的古代玻璃珠[6]

表1　河南淅川徐家岭墓地出土的古代蜻蜓眼玻璃珠样品描述

样品编号	标本号	器名	样品描述（尺寸单位：cm）	完残情况
HNZZ-01	M10：3	玻璃珠	体近圆柱形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.9，最大直径2.1，孔径0.52	磕伤
HNZZ-02	M10：41	玻璃珠	体近圆柱形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.8，最大直径2，孔径0.52	磕伤
HNZZ-03	M10：4-1	玻璃珠	体近珠形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.5，最大直径1.88，孔径0.48	残
HNZZ-04	M10：4-2	玻璃珠	体近珠形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.49，最大直径1.87，孔径0.38	完整
HNZZ-05	M10：4-3	玻璃珠	体近珠形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.48，最大直径1.81，孔径0.34	完整
HNZZ-06	M10：4-4	玻璃珠	体近珠形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.42，最大直径1.81，孔径0.28	残
HNZZ-07	M10：4-5	玻璃珠	体近珠形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.41，最大直径1.75，孔径0.28	磕伤
HNZZ-08	M10：4-6	玻璃珠	体近珠形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.39，最大直径1.79，孔径0.25	残
HNZZ-09	M10：95-1	玻璃珠	体近珠形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.46，最大直径1.71，孔径0.25	残
HNZZ-10	M10：95-2	玻璃珠	体近珠形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.37，最大直径1.61，孔径0.22	磕伤
HNZZ-11	M10：95-3	玻璃珠	体近珠形，断面为圆形，两端近平，中有一圆形穿孔。高1.15，最大直径1.4，孔径0.16	完整

表2　11个蜻蜓眼样品不同部位的化学成分　　（%）

样品编号	样品部位及颜色	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2
HNZZ-01	基体：蓝色	9.53	0.19	3.4	72.8	0.31	0.45	0.61	2.15	8.54	0.04
	珠眼：蓝色	9.91	0.97	3.5	70.5	0.22	0.56	0.68	1.17	8.62	0.11
	眼圈：红+白	7.37	1.17	3.8	75.0	0.23	0.67	0.83	1.01	8.73	0.11
HNZZ-02	基体：蓝色	10.4	0.56	3.9	72.5	0.11	0.60	0.67	1.62	7.87	0.08
	珠眼：蓝	7.54	0.42	4.0	71.2	0.29	0.85	0.81	1.12	8.78	0.07
	珠眼：蓝色	10.0	0.56	3.4	71.8	0.15	0.50	0.70	0.88	7.89	0.11
	眼圈：红+白	6.49	0.31	3.5	69.0	0.42	0.93	1.11	0.89	9.85	0.00
HNZZ-03	基体：蓝色	8.89	0.35	3.0	76.7	0.69	0.60	0.64	1.06	6.73	0.05
	珠眼：蓝色	6.65	0.77	5.7	71.3	0.33	0.54	0.75	1.16	8.21	0.24
	眼圈：白	0.73	0.00	3.3	57.5	0.25	0.81	1.19	2.23	26.6	1.27
	眼圈：白	6.17	0.33	5.1	67.0	0.54	0.84	0.77	1.05	12.7	0.28
HNZZ-04	基体：蓝色	8.87	0.49	3.0	75.8	0.29	0.52	0.59	1.26	7.16	0.07
	珠眼：蓝色	7.14	0.15	2.6	72.9	0.00	0.46	0.74	1.34	8.20	0.15
	眼圈：白+红	6.13	0.00	3.3	70.3	0.78	0.78	0.82	1.19	12.1	0.24
HNZZ-05	基体：淡蓝	10.2	0.93	4.5	69.7	0.59	0.25	0.52	1.43	8.63	0.13
	珠眼：蓝色	8.03	0.96	3.0	73.3	0.30	0.33	0.88	0.74	8.09	0.07
	眼圈：白	4.90	0.33	3.8	68.5	0.45	0.49	0.99	1.43	13.0	0.59
HNZZ-06	基体：蓝色	10.3	0.55	2.9	71.9	0.22	0.47	0.62	1.37	8.58	0.08
	珠眼：蓝色	10.7	0.63	2.9	70.9	0.80	0.36	0.44	1.51	8.74	0.10
	眼圈：白	6.59	0.00	2.8	69.7	0.44	0.55	0.72	1.45	13.5	0.24
	眼圈：白	7.79	0.00	3.4	69.6	0.73	0.58	0.72	1.31	11.9	0.19
HNZZ-07	基体：蓝色	10.6	0.75	3.6	73.1	0.36	0.40	0.57	1.32	7.41	0.07
	珠眼：蓝色	9.85	0.38	3.6	72.0	0.21	0.23	0.50	1.69	7.81	0.08
	眼圈：白	2.23	0.00	3.0	72.7	0.29	1.11	1.02	1.00	12.6	0.32
HNZZ-08	基体：蓝色	5.51	0.69	3.0	77.6	0.41	0.59	0.71	1.21	7.63	0.00
	珠眼：蓝色	8.78	0.46	3.3	72.2	0.48	0.35	0.62	1.17	8.06	0.12
	眼圈：白	6.54	0.00	3.3	65.4	0.19	1.03	0.99	0.99	14.5	0.55
HNZZ-09	基体：蓝色	4.63	0.84	3.2	78.4	0.13	0.42	0.62	1.49	8.04	0.00
	珠眼：蓝色	7.26	0.57	2.9	74.8	0.30	0.65	0.60	0.83	7.66	0.07
	眼圈：白	3.98	0.00	3.3	69.9	0.42	0.91	0.91	1.20	12.9	0.30
HNZZ-10	基体：蓝色	10.5	0.44	2.9	73.9	0.53	0.36	0.52	0.91	7.58	0.05
	珠眼：蓝色	5.46	1.01	3.1	69.0	0.00	0.51	0.81	0.98	7.66	0.00
	眼圈：白	5.03	0.00	2.6	66.1	0.00	0.74	0.89	0.93	15.7	0.59
HNZZ-11	基体：蓝色	10.5	0.70	2.9	72.9	0.24	0.39	0.71	1.30	8.84	0.09
	珠眼：蓝色	10.5	0.73	2.9	72.1	0.40	0.51	0.61	1.05	8.54	0.10
	眼圈：白	4.40	0.12	3.2	67.1	0.49	0.53	1.35	1.41	14.0	0.41

样品编号	样品部位及颜色	MnO	Fe_2O_3	CoO	NiO	CuO	ZnO	PbO	BaO	I	Hg
HNZZ-01	基体：蓝色	0.03	0.58	0.03	0.00	1.21	0.03	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.04	2.86	0.25	0.00	0.48	0.04	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：红+白	0.04	0.76	0.04	0.00	0.13	0.04	0.00	0.0	0.00	0.00
HNZZ-02	基体：蓝色	0.00	0.62	0.00	0.00	0.84	0.06	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝	0.05	4.00	0.16	0.00	0.53	0.11	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.04	3.15	0.17	0.00	0.50	0.08	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：红+白	0.00	6.08	0.00	0.24	1.16	0.00	0.91	0.0	0.00	0.00

（续表）

样品编号	样品部位及颜色	MnO	Fe_2O_3	CoO	NiO	CuO	ZnO	PbO	BaO	I	Hg
HNZZ-03	基体：蓝色	0.00	0.48	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.05	3.27	0.14	0.00	0.72	0.09	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：白	0.42	3.88	0.55	0.00	0.41	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：白	0.09	1.29	0.08	0.00	0.21	0.00	0.00	0.0	3.38	0.00
HNZZ-04	基体：蓝色	0.00	0.42	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.00	4.25	0.24	0.00	1.51	0.23	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：白+红	0.15	0.89	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.0	2.99	0.00
HNZZ-05	基体：淡蓝	0.03	0.88	0.00	0.03	1.83	0.00	0.28	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.06	3.21	0.28	0.00	0.72	0.05	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：白	0.10	1.13	0.20	0.10	0.10	0.00	0.00	0.0	3.28	0.00
HNZZ-06	基体：蓝色	0.00	0.68	0.00	0.00	2.26	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.04	2.17	0.11	0.00	0.44	0.11	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：白	0.08	0.85	0.05	0.02	0.06	0.03	0.00	0.0	2.68	0.00
	眼圈：白	0.07	0.77	0.02	0.00	0.04	0.02	0.00	0.0	2.58	0.00
HNZZ-07	基体：蓝色	0.00	0.49	0.00	0.00	1.16	0.03	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.00	2.72	0.12	0.00	0.62	0.11	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：白	0.16	1.36	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	3.82	0.00
HNZZ-08	基体：蓝色	0.00	0.93	0.00	0.00	1.56	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.00	3.27	0.18	0.00	0.87	0.17	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：白	0.11	1.41	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	4.69	0.00
HNZZ-09	基体：蓝色	0.00	0.56	0.00	0.00	1.55	0.07	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.06	3.14	0.27	0.00	0.86	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：白	0.12	1.36	0.06	0.00	0.06	0.00	0.00	0.0	4.27	0.00
HNZZ-10	基体：蓝色	0.00	0.54	0.04	0.00	1.67	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.00	6.95	0.52	0.00	3.55	0.25	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：白	0.15	1.27	0.23	0.00	0.07	0.00	0.00	0.0	5.28	0.00
HNZZ-11	基体：蓝色	0.03	0.45	0.03	0.00	0.82	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
	珠眼：蓝色	0.00	1.75	0.26	0.00	0.26	0.18	0.00	0.0	0.00	0.00
	眼圈：白	0.05	1.17	0.23	0.00	0.09	0.04	0.00	0.0	5.01	0.00

B.4 湖北出土的战国玻璃[7]

表1 湖北出土战国玻璃制品的概要情况

编 号	器 名	年 代	色 泽	数量	保存状况	出 土 地 点
HBWKI-2-A	陶璜片	战国早期	深黄色，中间有圆孔。基体上涂有浅蓝色玻璃态涂层	1	残	江陵望山M2头箱
HBWKI-3	蜻蜓眼玻璃珠	战国中晚期	蓝色基体，白色眼圈	1	完整	江陵九店5.29754砖M466：5
HBWKI-16	蜻蜓眼玻璃珠	战国早期	绿色基体，白色眼底，蓝色眼珠，断面呈浅蓝色	1	残	随州擂鼓墩M1主内棺285
HBWKI-17	蜻蜓眼玻璃珠	战国早期	深蓝色基体，浅蓝色眼珠	1	残	随州擂鼓墩M1主内棺
HBWKI-18	蜻蜓眼玻璃珠	战国早期	浅蓝色基体，白色眼底，褐色眼圈，深蓝色眼珠	1	残	随州擂鼓墩M1主内棺

（续表）

编　号	器　名	年　代	色　泽	数量	保存状况	出土地点
HBWKI-27-A	蜻蜓眼玻璃珠	战国中晚期	浅蓝色基体，白色眼圈，深蓝色眼珠，断面呈黄色	1	残	江陵九店：江·九·砖M871：1
HBWKI-28	陶胎蜻蜓眼珠	战国中晚期	黄色基体，白色釉面	1	残	江陵九店：江·九·砖M869：7
HBWKI-30-A	玻璃管	战国中晚期	深蓝色	1	完整	江陵九店：90江·九·砖M808：9
HBWKI-30-B	玻璃管	战国中晚期	浅蓝色	1	残	江陵九店：90江·九·砖M808：9
HBWKI-35	陶胎蜻蜓眼珠	战国中晚期	蓝色基体和眼珠，白色眼底，断面呈黄褐色	1	残	江陵九店：92江·九·砖M903：4
HBWKI-36	玻璃珠	战国中晚期	绿色	1	残	江陵九店：90江·九·砖M804：7
HBWKI-46	玻璃珠	战国早期偏晚	浅蓝色基体，白色眼底，褐色眼圈，深蓝色眼珠	4	碎片	随州擂鼓墩2号墓
HBWKI-47	玻璃管	战国中晚期	外侧蓝色，内侧黄色	4	碎片	84江陵九店头箱
HBWKI-48	玻璃珠	战国中晚期	外侧蓝色，内侧灰白色	4	碎片	江陵九店M286
HBWKI-57	玻璃璜形佩	战国中晚期	深蓝色	1	3块残片修复	襄阳陈坡M10：41北室
HBXKI-T9	玻璃蜻蜓眼珠	战国	蓝色基体蜻蜓眼珠，高1.1 cm，直径1.3 cm	1	基本完好	团山墓地M96：19-1
HBXKI-T10	玻璃珠	战国	蓝绿色玻璃珠，高0.5 cm，直径0.5 cm	1	基本完好	团山墓地M96：19-2

表2　湖北出土战国玻璃制品化学成分的PIXE测定结果　（%）

编　号	部　位	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CoO	CuO	ZnO	BaO	PbO
HBWKI-2-A	边上绿色部	0.48	0.86	9.63	49.59	3.93	0.44	0.73	0.00	0.00	0.02	0.77	0.00	7.72	0.09	13.48	12.25
	陶胎	1.87	1.58	16.01	70.06	0.88	2.72	0.66	1.19	0.04	0.00	3.51	0.00	0.04	0.00	0.00	1.11
HBWKI-3	蓝色基体	1.99	1.79	13.52	62.07	0.52	1.20	0.41	0.00	0.02	0.02	1.54	0.00	0.48	0.20	6.11	10.12
HBWKI-28	白色釉层	0.16	0.63	4.98	74.31	1.11	0.38	0.34	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.35	0.00	6.19	10.61
	芯层	1.69	2.62	15.78	64.52	0.59	1.64	0.28	1.35	0.02	0.05	10.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
HBWKI-35	绿色	3.41	2.95	12.02	57.65	1.29	1.69	1.44	0.00	0.12	0.00	1.33	0.00	4.45	0.00	9.92	3.73
	断面	1.48	3.27	17.38	47.54	6.52	2.64	4.60	0.67	0.00	0.00	3.44	0.06	0.00	0.00	4.03	8.37
HBWKI-16	绿色基体	3.29	0.77	3.69	82.88	0.18	0.37	7.13	0.04	0.00	0.00	0.45	0.00	1.14	0.00	0.00	0.00
	蓝色眼珠	3.62	0.66	4.17	72.72	0.91	0.91	10.32	0.13	0.00	0.00	4.73	0.64	1.04	0.11	0.00	0.00
HBWKI-17	深蓝色基体	1.53	0.68	3.54	80.91	0.84	0.82	9.85	0.13	0.02	0.03	0.58	0.00	0.56	0.00	0.00	0.49
	浅蓝色眼珠	2.50	0.75	3.51	77.03	0.59	1.41	9.52	0.12	0.00	0.02	3.34	0.24	0.53	0.22	0.00	0.14
HBWKI-18	浅蓝色基体	13.43	5.78	5.33	64.28	0.34	2.15	6.45	0.12	0.03	0.00	0.71	0.02	1.30	0.03	0.00	0.00
	深蓝色眼珠	14.58	6.57	4.99	62.41	0.12	2.20	6.69	0.19	0.04	0.02	0.84	0.00	1.34	0.00	0.00	0.00
	中间夹层区	13.58	5.59	5.35	66.41	0.54	1.91	5.21	0.10	0.02	0.01	0.38	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00
HBWKI-46		7.50	1.34	7.14	71.76	0.19	1.24	8.24	0.15	0.00	0.00	1.31	0.00	1.08	0.00	0.00	0.00
HBWKI-27	蓝色眼珠	1.10	1.43	6.84	67.46	0.43	11.67	3.62	0.25	0.03	0.14	1.79	0.04	5.07	0.03	0.00	0.00
	芯层	0.00	0.88	3.12	90.26	0.64	2.56	0.97	0.17	0.05	0.05	0.99	0.04	0.15	0.00	0.00	0.00
HBWKI-30-A	颜色较浅处	0.24	1.09	6.96	70.33	0.43	12.75	3.80	0.24	0.03	0.10	1.33	0.10	2.52	0.08	0.00	0.00
	颜色较深处	1.12	0.95	3.98	70.04	0.96	13.44	3.64	0.30	0.04	0.09	1.43	0.08	3.26	0.00	0.00	0.00
HBWKI-30-B	浅色料管	0.53	1.03	14.07	68.82	0.82	1.81	0.50	0.59	0.02	0.02	2.00	0.00	3.82	0.04	3.98	1.95
HBWKI-36	眼珠	0.85	1.54	4.65	76.42	0.71	8.18	2.89	0.25	0.00	0.07	1.41	0.04	2.34	0.15	0.00	0.00
HBWKI-47	外面蓝色区	2.54	1.22	5.96	67.62	0.81	11.93	3.22	0.15	0.02	0.10	1.64	0.05	3.36	0.51	0.86	0.00
	芯层	0.00	1.15	15.37	74.18	0.45	2.84	0.59	0.96	0.03	0.01	3.89	0.00	0.14	0.06	0.00	0.00

（续表）

编　号	部　位	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CoO	CuO	ZnO	BaO	PbO
HBWKI-48	外侧	0.53	1.48	15.87	59.74	0.69	7.57	3.15	0.40	0.04	0.10	4.29	0.10	4.41	0.17	0.00	1.06
	芯层	1.41	1.15	2.70	88.72	1.09	1.95	0.85	0.15	0.00	0.00	1.29	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00
HBWKI-57	玻璃璜体	1.96	1.57	3.16	69.16	0.77	15.00	4.22	0.14	0.09	0.09	1.28	0.00	2.10	0.17	0.00	0.00
HBXKI-T9	基体绿色区	1.17	1.14	3.79	72.41	0.73	9.82	2.81	0.08	As_2O_3 0.16	0.00	0.98		4.38	0.17	0.00	0.98
	眼睛灰色部分	3.51	2.26	9.43	58.05	0.50	6.61	3.88	0.18		0.00	1.78		5.70	0.00	1.09	2.34
	眼睛黑色部分	1.13	1.09	12.35	61.45	0.21	5.07	3.14	0.16		0.00	2.27		2.10	0.00	1.88	3.92
HBXKI-T10	蓝绿色区	1.19	0.88	8.32	66.45	0.00	11.68	4.19	0.29		0.23	3.02		3.74	0.00	0.00	0.00

表 3　曾侯乙墓出土玻璃微量元素的 PIXE 测定结果　（$\times 10^{-6}$）

样　品	部 位	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Pb
HBWKI-16	绿色区	725	33 110	3 150	5 128	901	51	205	176	2 256	0	513	974
HBWKI-17	蓝色区	397	23 380	1 871	4 422	768	101	168	0	920	61	181	11 266

表 4　擂鼓墩 2 号墓出土战国蜻蜓眼玻璃珠的化学成分　（%）

编号	部　位	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	Fe_2O_3	CuO	PbO	Sb_2O_5	SO_3
lgd1	蓝色基体	4.29	0.33	2.14	75.06	0.97	11.34	0.81	0.90	0.52	2.59	1.04
	棕色眼部	4.62	0.32	2.18	73.69	0.92	11.49	1.00	0.45	0.70	3.34	0.91
lgd2	白色眼部	4.53	0.34	2.10	72.74	1.05	11.29	0.10	0.07	0.30	5.47	1.14
	蓝-紫色基体	4.77	0.47	2.11	74.36	1.19	10.47	1.59	0.19	0.30	3.57	0.99
lgd3	浅蓝色基体	4.31	0.33	2.14	76.21	0.95	11.36	0.64	1.11	0.97	1.12	0.71
lgd4	蓝色玻璃管	0.09	0.27	1.07	72.73	15.63	1.66	0.40	1.52	0.52		0.34

B.5　河南出土的东周至宋代玻璃器[8]

表 1　河南出土的玻璃器样品概况分析

样 品 号	出 土 编 号	品　名	年　代	出 土 地 点
HNWKⅣ-06	M38：3	蜻蜓眼珠	东周	新郑
NYWKⅠ-3	M21：4	耳鼻塞	西汉	南阳
NYWKⅠ-5-1~2	M24	蜻蜓眼珠	西汉晚期	南阳
HNWKⅡ-83	M4：0220	蜻蜓眼珠	春秋晚期	叶县
HNWKⅡ-84	Mb-0515-36	蝉形	汉代	荥阳
HNWKⅡ-85	IIM11：5	蝉形	汉代	荥阳
HNWKⅡ-86	IVM52：3	耳鼻塞	汉代	荥阳
HNWKⅡ-87	IIM243：66	蝉形	汉代	荥阳
HNWKⅡ-88	IIT1110M217：7	兽形装饰品	汉代	荥阳
HNZZ-58	2006XXIIT1110M217	蜻蜓眼珠	汉代	荥阳
HNZZ-59	2006XXIIT1210M221：3	白色珠	汉代	荥阳
HNZZ-65、66	2006XXIIM243：22-1~2	蜻蜓眼珠	汉代	荥阳

（续表）

样品号	出土编号	品名	年代	出土地点
HNLY-03	M1026：26	蝉	东汉晚期	洛阳
HNLY-05	M18	料珠	东汉中期	洛阳
HNLY-08	M8371	蜻蜓眼珠	战国	洛阳
HNLY-09	M3943	蜻蜓眼珠	战国	洛阳
HNLY-10	M405：2	耳环料	唐代	洛阳
HNLY-11	M15：8（9：1962）	料珠	唐代	洛阳
HNLY-12	M23：1（9：962）	料环	唐代	洛阳
HNLY-14	M54：6（9：1951）	料珠	宋代	洛阳
HNLY-15	M433：3（9：1149）	蜻蜓眼珠	宋代	洛阳
HNLY-16	M71：1（9：983）	发夹	宋代	洛阳
HNLY-17	M2：15（9：1817）	蜻蜓眼珠	汉代	洛阳
HNLY-18	M21：6（9：857）	蜻蜓眼珠	西汉	洛阳
HNLY-20	M129：24	料珠	汉代	洛阳

表2 河南出土玻璃样品的化学成分测定结果 （%）

样品号	测试点	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CoO	CuO	PbO	BaO	Sb_2O_5
HNWK Ⅱ-83a	蓝色基体	1.89	0.92	3.52	77.01	1.06	0.67	0.00	0.86	9.58	0.03	0.03	0.07	0.84	0.00	2.80	0.59	0.00	0.00
HNWK Ⅱ-83b	黄色眼球	0.00	1.59	3.75	79.32	1.01	1.29	0.00	0.44	9.89	0.25	0.11	0.00	0.95	0.00	0.92	0.48	0.00	0.00
HNWK Ⅱ-83c[①]	新鲜基体	14.99	1.31	3.82	67.76	0.31			0.40	7.21		0.04		0.27		2.00		0.19	0.72
HNWK Ⅱ-83d[①]	白色眼部分	2.82	1.26	2.87	55.43	0.15			0.29	5.59		0.03				0.03		0.06	4.68
HNLY-08a	白色眼部分	7.78	1.01	7.57	71.30	0.56	0.91	0.55	0.51	7.91	0.10	0.00	0.00	0.69	0.00	1.06	0.00	0.00	0.00
HNLY-08b	蓝色体部	0.00	1.97	9.19	54.40	2.41	1.97	0.53	0.32	22.10	1.32	1.54	0.34	2.44	0.67	0.49	0.00	0.00	0.00
HNLY-08c	蓝色眼球	9.75	0.72	4.65	69.50	0.33	0.72	0.58	1.40	8.21	0.12	0.00	0.00	3.31	0.28	0.36	0.00	0.00	0.00
HNLY-09a	黑色眼球	2.35	2.30	11.96	67.94	0.64	2.17	0.00	3.62	4.81	0.39	0.04	0.00	3.39	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
HNLY-09b	黄色体部	0.97	0.86	8.49	77.75	0.59	1.03	0.00	0.96	4.60	0.34	0.04	0.00	2.98	0.03	1.00	0.00	0.00	0.00
HNLY-09c	绿色体部	0.70	1.17	7.38	78.50	0.68	0.05	0.00	1.84	4.04	0.15	0.00	0.00	3.04	0.00	2.45	0.00	0.00	0.00
HNLY-09d	玻璃态	0.76	0.94	5.76	85.60	0.26	0.00	0.06	0.68	2.53	0.09	0.00	0.00	1.69	0.07	1.55	0.00	0.00	0.00
HNLY-09e[②]	玻璃态	8.27	2.28	3.72	73.35	0.00	0.01	0.00	3.58	5.67	0.00	0.00	0.02	1.14	0.00	1.70	0.00	0.00	0.00
HNWKIV-06a[①]	黑色体部	3.06	1.21	1.90	40.77				0.16			0.01		0.18		1.84	33.92	0.55	0.00
HNWKIV-06b[①]	眼球部分	1.39	1.08	4.67	33.11					0.06		0.02		0.36		1.64	38.34	0.69	0.00
NYWK Ⅰ-3	白色表面	0.00	0.00	2.89	5.00	0.49	0.00	0.00	0.17	0.09	0.00	0.00	0.00	0.49	0.10	0.00	89.65	0.00	0.00
HNLY-05	黄色体部	0.00	1.37	4.18	41.00	8.08	0.00	0.16	0.10	1.72	0.96	0.00	0.00	0.23	0.00	0.62	41.60	0.00	0.00
NYWK Ⅰ-5-1a	绿色眼球	4.87	1.34	5.38	57.05	1.27	0.00	0.00	0.42	1.07	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	1.49	17.73	7.08	0.00
NYWK Ⅰ-5-1b	黑色体部	1.78	0.68	2.25	26.73	7.05	0.00	0.00	0.36	1.27	0.00	0.02	0.13	15.31	0.00	0.15	36.36	6.66	0.00
NYWK Ⅰ-5-1c	白色眼部分	1.00	1.23	2.49	51.56	2.75	0.00	0.00	0.08	0.51	0.00	0.08	0.00	4.66	0.00	0.21	32.19	2.75	0.00
NYWK Ⅰ-5-2a	绿色眼球	2.46	1.10	5.91	57.99	1.41	0.00	0.00	0.33	1.17	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	1.51	19.36	6.93	0.00
NYWK Ⅰ-5-2b	白色表面	0.03	1.38	7.02	53.48	0.98	0.00	0.00	0.26	1.57	0.03	0.06	0.00	1.22	0.00	0.61	28.74	2.57	0.00
HNLY-18	黑色体部	0.26	1.18	13.50	66.60	2.88	1.94	0.10	0.43	5.42	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.40	5.67	0.83	0.00
HNLY-03a	风化表面	0.00	0.00	4.86	23.80	26.40	0.00	0.53	0.43	12.6	0.30	0.00	0.00	0.63	0.00	0.22	30.20	0.00	0.00
HNLY-03b	绿色点	1.08	0.76	3.30	54.00	12.60	0.00	0.59	0.97	2.93	0.00	0.00	0.05	0.30	0.00	0.13	19.70	3.55	0.00
HNWK Ⅱ-84a	前面	0.23	0.40	1.34	30.08	15.58	0.00	0.00	0.44	14.44	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	28.75	6.82	0.00
HNWK Ⅱ-84b	黑色背部	0.00	1.05	1.70	12.10	15.45	1.27	0.00	0.14	15.32	0.13	0.23	0.00	0.22	0.00	0.05	44.08	6.83	0.00

（续表）

样品号	测试点	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CoO	CuO	PbO	BaO	Sb_2O_5
HNWK Ⅱ-84c	边部	1.52	0.06	0.88	39.77	1.23	0.00	0.00	0.07	0.18	0.00	0.08	0.00	0.05	0.00	0.00	38.64	17.46	0.00
HNWK Ⅱ-84d	新鲜前部	0.56	0.20	0.78	37.15	4.13	0.00	0.00	0.14	3.27	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	40.73	12.04	0.00
HNWK Ⅱ-85a	新鲜前部	0.00	0.37	1.01	42.11	6.24	0.00	0.00	0.22	3.50	0.00	0.07	0.00	0.06	0.00	0.06	40.60	3.54	0.00
HNWK Ⅱ-85b	边部	0.00	0.59	1.58	23.54	4.35	0.11	0.00	0.16	3.58	0.00	0.06	0.00	0.13	0.00	0.06	49.15	15.13	0.00
HNWK Ⅱ-86a	表面	0.00	0.75	1.55	22.48	4.87	0.00	0.00	0.00	4.39	0.00	0.05	0.00	0.27	0.00	0.00	59.47	4.54	0.00
HNWK Ⅱ-86b	新鲜点	0.00	0.68	1.76	25.33	4.26	0.00	0.00	0.00	2.91	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	57.85	4.03	0.00
HNWK Ⅱ-87a	边部	0.00	0.62	3.05	38.52	1.00	0.00	0.00	0.30	2.44	0.00	0.09	0.00	0.62	0.00	0.00	36.24	14.24	0.00
HNWK Ⅱ-87b	新鲜面	0.00	0.26	0.68	15.59	4.80	6.41	0.00	0.16	2.72	0.09	0.23	0.00	0.07	0.00	0.00	42.15	23.63	0.00
HNWK Ⅱ-87c	风化表面	0.00	0.00	1.62	13.84	15.08	3.18	0.00	0.19	16.21	0.00	0.19	0.00	0.27	0.00	0.00	32.42	14.71	0.00
HNWK Ⅱ-88	玻璃态基底	2.11	1.43	4.43	51.80	1.44	0.00	0.00	0.09	3.21	0.00	0.07	0.00	0.47	0.00	0.35	24.90	7.69	0.00
HNZZ-58	玻璃态基底	0.00	1.21	3.01	57.00	7.30	0.00	0.51	0.35	2.74	0.12	0.00	0.00	0.41	0.00	0.36	26.70	0.24	0.00
HNZZ-59	玻璃态基底	0.82	0.51	7.32	74.80	1.79	0.00	0.52	6.05	7.46	0.04	0.00	0.00	0.46	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
HNZZ-65	玻璃态基底	0.00	0.49	1.19	62.50	2.03	0.00	0.33	0.09	0.41	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.23	32.40	0.00	0.00
HNZZ-66	玻璃态基底	0.77	0.57	1.82	58.70	3.73	0.00	0.44	0.17	1.16	0.04	0.00	0.03	0.98	0.03	0.09	31.40	0.00	0.00
HNLY-17a	玻璃态基底	0.22	1.09	6.68	31.70	17.00	0.75	0.24	0.46	4.69	0.00	0.00	0.04	16.99	0.14	0.75	18.60	0.58	0.00
HNLY-17b	蓝色眼球	0.00	0.58	5.17	23.80	18.00	2.45	0.77	0.68	6.82	0.00	0.00	0.23	2.25	0.00	2.24	33.30	3.72	0.00
HNLY-17c	白点	1.63	1.85	12.60	54.50	7.01	2.05	0.27	1.39	3.41	0.00	0.00	0.05	1.39	0.02	0.12	9.46	4.29	0.00
HNLY-20	玻璃态基底	0.00	0.75	2.93	51.50	11.2	0.00	0.22	0.11	1.31	0.00	0.00	0.10	0.16	0.00	0.86	24.60	6.19	0.00
HNLY-11	玻璃态基底	2.81	0.70	6.11	66.00	1.19	1.30	0.63	1.26	11.2	0.52	0.00	1.21	4.47	0.00	0.78	1.80	0.00	0.00
HNLY-12	玻璃态基底	0.00	1.17	7.81	38.00	13.30	0.00	1.17	3.60	2.85	0.03	0.00	0.03	0.47	0.00	4.50	26.90	0.00	0.00
HNLY-10	玻璃态基底	2.18	2.59	10.50	47.00	7.85	3.39	0.52	3.89	2.26	0.00	0.00	0.08	0.65	0.00	1.45	17.70	0.00	0.00
HNLY-14a	红点	0.20	0.60	3.78	47.00	8.01	0.79	0.76	8.73	3.27	0.04	0.00	0.03	2.47	0.03	1.95	22.30	0.00	0.00
HNLY-14b	白点	1.56	1.76	8.09	51.30	4.67	1.10	0.24	3.24	10.40	0.06	0.00	0.00	0.92	0.04	0.08	16.50	0.00	0.00
HNLY-15	玻璃态基底	1.02	1.47	6.14	43.40	11.00	0.00	0.22	4.60	1.54	0.04	0.00	0.00	1.33	0.03	6.91	22.40	0.00	0.00
HNLY-16	玻璃态基底	0.00	1.00	3.41	27.00	5.32	0.00	0.65	1.61	1.44	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	59.40	0.00	0.00

注：① 为pXRF分析结果，② 为扫描电镜能谱（SEM-EDS）分析结果，其余皆为PIXE分析结果。

B.6 中国出土的汉代玻璃耳珰[9]

表1 实验所分析各地出土的汉代玻璃耳珰一览表

实验编号	出土/馆藏编号	年代	颜色	尺寸（cm）	出土时间和地点	样品描述
HNLY-01	M159A：6	东汉晚期	蓝色	长：1	1953年烧沟 M159A：6	腰鼓形，蓝色，不透明，中有穿孔，保存较好
HNLY-04	M1026：27	东汉早期	绿色	长：1.6	1953年洛阳烧沟	腰鼓形，中有穿孔，一端残，表面风化严重，不透明
HNLY-06	M29：1	东汉早中期	蓝色	长：1.1	1953年洛阳烧沟	喇叭形，中有穿孔，表面部分风化脱落，半透明
HNLY-07	M21：39	东汉早期	蓝紫色	长：1.8	1953年烧沟	喇叭形，中有穿孔，半透明，保存较好
HN LY-13	M27：41（2：5563）	汉代	绿色	长：1.5	1973年10月洛阳铜加工厂储运车间	喇叭形，中有穿孔，风化严重，不透明
HNLY-19	M042：12（9：2037）	汉代	绿色	长：1	1957年8月洛阳铁占线401工区	喇叭形，中有穿孔，表面风化为银釉状，半透明
NYWKI-10	00647	汉代	蓝色		1993年南阳万龙公司M1	喇叭形，中有穿孔，部分风化，半透明

（续表）

实验编号	出土/馆藏编号	年代	颜色	尺寸(cm)	出土时间和地点	样品描述
HNZZ-52	2006 XXIV M38：1-2	西汉晚期—新朝	表面呈深褐色，胎体青色	长2.36	2006年河南荥阳县（今荥阳市，下同）薛村遗址	下端略呈喇叭形，主体近似柱状，中下部较细。局部风化，有穿孔
HNZZ-53	2006 XXIV M38：1-2	西汉晚期—新朝	表面呈深褐色，胎体青色	长2.36	2006年河南荥阳县薛村遗址	下端略呈喇叭形，主体近似柱状，中下部较细。局部风化，有穿孔
HNZZ-54	2006XXI M26：1	新朝或晚	深湖蓝色	长1.97	2006年河南荥阳县薛村遗址	喇叭形，中有穿孔
HNZZ-55	2006XXI M26：2	新朝或晚	深湖蓝色	长2.18	2006年河南荥阳县薛村遗址	喇叭形，中有穿孔，透明度较差
HNZZ-56	2006XXII M243：45-1	东汉中晚期	浅湖蓝色	长1.64	2006年河南荥阳县薛村遗址	喇叭形，中有穿孔，穿芯呈白色，透明度高
HNZZ-57	2006XXII M243：45-2	东汉中晚期	面风化成银釉状	长1.44	2006年河南荥阳县薛村遗址	表面风化成银釉状，破损严重，中有穿孔
HNZZ-60	2006XXII M242：7	东汉或更晚	湖蓝色	长1.56	2006年河南荥阳县薛村遗址	喇叭形，中有穿孔，穿芯呈白色，透明度高
HNZZ-61	2006XXI M40：10	东汉早中期	蓝色	长2.24	2006年河南荥阳县薛村遗址	喇叭形，中有穿孔，透明度较差
HNZZ-62	2006XXIIT0919 M251：6	新朝至东汉早期	浅褐色	长1.79	2006年河南荥阳县薛村遗址	喇叭形，表面风化严重，中有穿孔，透明度较差
HNZZ-63	2006XXIIT1110 M217：3	西汉以后	湖蓝色	长1.12	2006年河南荥阳县薛村遗址	表面分化脱落，露出湖蓝色实体，腰鼓形，中有一穿，穿芯呈白色，透明度高
HNZZ-64	2006XXI M58：12	汉代	湖蓝色	长1.69	2006年河南荥阳县薛村遗址	腰鼓形，中有穿孔，有透明度，白色穿芯
HNZZ-67	2006 XXIV M48：5-1	东汉早期以后	湖蓝色	长1.13	2006年河南荥阳县薛村遗址	对称腰鼓形，表面风化，中有一较粗穿孔，有白色穿芯
HNZZ-70	2006XXI M76：22	东汉中晚期	湖蓝色	长1.05	2006年河南荥阳县薛村遗址	喇叭形，表面风化较重，风化层脱落殆尽，中有穿孔
HNZZ-71	2006XXIIT1110 M217：2	西汉以后	湖蓝色	长1.14	2006年河南荥阳县薛村遗址	腰鼓形，表面风化较重，风化层脱落殆尽，中有穿孔，透明度高
HNZZ-72	2006 XXIV M92：3-1	新朝	湖蓝色	长1.54	2006年河南荥阳县薛村遗址	喇叭形，表面风化脱落，中有穿孔
HNZZ-73	2006 XXIV M92：3-2	新朝	湖蓝色	长1.54	2006年河南荥阳县薛村遗址	表面风化脱落，喇叭形，中有穿孔
HNZZ-78	2005XXIIT0715 M22：3	东汉早中期	深蓝(黑)	长1.70	2005年河南荥阳县薛村遗址	喇叭形，表面风化，一端破损，中有穿孔
SCWK-1	M40：1	东汉	深蓝色	长1.65，端径1.5、1.0	1995—1996年四川南充东站M40	喇叭形，中有孔，两端大小不一，中间束腰
SCWK-2	M27：2	东汉	深蓝色	长1.8，大端直径1.8，孔径0.2	1995—1996年四川南充东站M27	喇叭形，中有孔，两端大小不一，中间束腰
SCWK-3	M27：3	东汉	深蓝色	长2.3，端径1.7、1.0	1995—1996年四川南充东站M27	喇叭形，中有孔，两端大小不一，中间束腰
SCWK-4	M27：4	东汉	浅蓝色	长1.6，大端直径1.7	1995—1996年四川南充东站M27	喇叭形，中有倾斜小孔，两端大小不一，中间束腰
GZH-7	B.1.4745	汉代	浅蓝色	长2.2，端径1.5、1.0	1958年贵州清镇琊珑坝清M18	束腰，大的一头窄缘，中有穿孔，透明，中间为圆柱状

（续表）

实验编号	出土/馆藏编号	年代	颜色	尺寸（cm）	出土时间和地点	样品描述
GZH-9	B.1.2170	东汉	深蓝色	端径1.8、0.7，长1.8	贵州平坝金家大坪平M12	束腰细，大的一头宽缘，中有穿孔
GZH-11	B.1.11229	东汉	蓝色	长约1.4	1972年贵州黔西黔M13	腰较短，微束，两端大小不等，中有穿孔
GZH-14	B.1.13151	东汉	蓝色	长约1.4	1975年贵州兴仁交乐M2	腰较短，微束，两端大小不等，中有穿孔
GZH-16	B.1.14051	新朝	蓝色	长约2.0，腰径0.9	1978年贵州威宁中水梨M24	残缺，只剩中间腰部，直腰腰部较长，且较粗，小的一端与腰径相等
HNLY-02	M1015：10	新朝	白	长：2.5	1953年烧沟M1015：10	玻璃耳塞

表2 各地出土的汉代玻璃耳珰主要化学成分的PIXE分析结果 （%）

编号	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CoO	CuO	ZnO	PbO	BaO	材质
HNLY-01	0.63	13.6	7.02	50.8	0.85	0.22	19.05		3.72	0.06		SO_3 3.83			青金石、透辉石
青金石	8.35	12.5	1.06	40.4	16.0	3.26	12.8	0.02	0.05			SO_3 3.91			
透辉石		18.14		56.32	0.06	0.03	22.68		2.43			0.06			
HNLY-04	0.47	1.38	4.20	34.1	20.1		5.25	0.06	1.12		4.91		26.8	1.12	铅钡硅酸盐
HNLY-06	2.38	1.82	6.02	68.2	4.04	0.20	2.47	0.22	1.20				9.49	3.66	铅钡硅酸盐
HNLY-07	0.61	0.91	3.88	72.2	0.37	11.5	1.53	4.51	3.48	0.16	0.08				钾硅酸盐
HNLY-13		0.59	7.73	56.0	6.52		1.99	0.11	2.03	0.06	7.90		13.6	3.28	铅钡硅酸盐
HNLY-19	0.97	1.27	5.25	37.1	12.4	0.24	1.35	0.06	0.29	0.03	0.31	0.03	33.8	6.68	铅钡硅酸盐
NYWK I-10	4.33	1.47	8.01	58.60	0.93	1.63	3.00	0.10	1.47	0.30	0.12		14.15	5.46	铅钡硅酸盐
HNZZ-52		0.84	6.75	16.9	23.9	0.58	45.5	0.37	1.03		3.33	0.09			骨质
HNZZ-53		0.62	0.50	0.45	35.7	0.06	59.1	0.14			2.72				骨质
HNZZ-54	0.68	0.48	2.59	87.8	1.51	2.92	1.18	1.16	1.17	0.07					钾硅酸盐
HNZZ-55	1.38	0.65	3.95	72.3	0.67	7.98	3.82	2.76	3.82	0.25	0.24		0.89		钾硅酸盐
HNZZ-56	1.16	0.82	7.53	54.3	5.93	1.58	3.80	0.37	2.93		0.21	0.05	14.4	6.29	铅钡硅酸盐
HNZZ-57	0.35	0.53	3.47	72.3	1.84	0.24	1.73	0.07	1.23	0.07	0.39		14.9	2.66	铅钡硅酸盐
HNZZ-60	1.20	1.22	2.86	85.7	1.92	2.02	1.98	0.47	1.79	0.07	0.13				钾硅酸盐
HNZZ-61	0.93	0.79	4.24	74.7	1.09	11.4	1.21	2.56	2.16	0.16	0.05	0.05			钾硅酸盐
HNZZ-62		0.46	2.79	61.7	11.3	0.33	8.33	0.04					10.5	3.42	铅钡硅酸盐
HNZZ-63	1.62	1.00	11.5	65.0	0.50	0.59	3.36	0.14	1.09	0.07	0.07		11.6	3.23	铅钡硅酸盐
HNZZ-64		0.20	3.67	84.2	0.81	2.55	3.46	1.82	2.10	0.15	0.07				钾硅酸盐
HNZZ-67	1.30	0.99	9.70	63.9	1.36	0.36	3.91	0.05					11.4	5.44	铅钡硅酸盐
HNZZ-69	0.96	1.19	12.3	68.6	0.76	0.17	4.74	0.25	1.16	0.06	0.06		6.52	2.93	铅钡硅酸盐
HNZZ-70	0.24	0.97	12.7	69.5	0.62	0.32	4.65	0.17	1.28		0.11		5.80	3.21	铅钡硅酸盐
HNZZ-71	1.35	1.01	9.37	62.2	1.10	0.63	3.65	0.06					13.7	6.12	铅钡硅酸盐

（续表）

编　号	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CoO	CuO	ZnO	PbO	BaO	材　质
HNZZ-72		0.49	11.1	63.9	1.12	0.06	3.35		1.05		3.29		11.8	3.76	铅钡硅酸盐
HNZZ-73	0.69	0.43	4.04	84.0	0.39	1.65	4.31	0.66	2.57		0.21				钾硅酸盐
HNZZ-78		0.20	0.82	16.9	9.78	0.05	6.03	0.05	11.63		0.20		52.8		铅硅酸盐
SCWK-1			2.17	53.13	0.73	0.05	0.99	0.05	0.40				24.55	17.93	铅钡硅酸盐
SCWK-2			3.41	54.10	0.27	0.27	1.74	0.15	0.59		0.04		22.80	16.63	铅钡硅酸盐
SCWK-3			3.13	86.00	0.02	5.57	0.86	1.60	2.19		0.02			0.30	钾硅酸盐
SCWK-4			3.23	52.86	0.45	0.45	2.04	0.28	0.94		0.12		22.85	16.75	铅钡硅酸盐
GZH-7			5.15	77.32	0.03	9.33	1.38	2.16	3.01	0.11	0.06			0.19	钾硅酸盐
GZH-9			9.47	52.73	0.46	0.87	3.45	0.12	1.40		0.10		16.39	14.98	铅钡硅酸盐
GZH-11			3.89	52.56	0.86	0.36	0.99	0.09	0.62		0.04		22.91	17.63	铅钡硅酸盐
GZH-14			1.68	53.10	0.57	0.09	1.64	0.04	0.41		0.01		25.95	16.43	铅钡硅酸盐
GZH-16			2.56	54.15	0.59	0.23	2.04	0.16	0.66		0.06		24.48	15.09	铅钡硅酸盐
HN LY-02	0.77	0.95	7.72	72.9	4.50	0.12	1.01		0.30				7.91	3.81	铅钡硅酸盐

B.7　中国战国时期的古代玻璃[10]

表1　实验选用的战国时期玻璃样品情况

<table>
<tr><th>样品编号</th><th>出土地点</th><th>器物概况</th></tr>
<tr><td>XJ-5A</td><td>新疆温宿县包孜东，83WBM41</td><td>蓝色带绿色调玻璃珠残片</td></tr>
<tr><td>XJ-5B</td><td>新疆温宿县包孜东，83WBM41</td><td>浅蓝色玻璃珠残片</td></tr>
<tr><td>XJ-6A</td><td>新疆且末扎滚鲁克，98QZIM1249：9</td><td>浅蓝玻璃珠，外径0.4 cm，内径0.2 cm</td></tr>
<tr><td>XJ-6B</td><td>新疆且末扎滚鲁克，98QZIM1249：9</td><td>蓝色玻璃珠，高约0.3 cm</td></tr>
<tr><td>XJ-46</td><td>新疆哈密96HHSHM14，临55</td><td>蓝色瓜形玻璃珠残片</td></tr>
<tr><td>HB-3</td><td>湖北，江陵九店M533出土</td><td>玻璃珠残片，表面蓝色，内含沙子</td></tr>
<tr><td>HB-1</td><td>河南淅川徐家岭楚墓出土</td><td>蓝色珠体残片，带棕、白的“蜻蜓眼”2个蜻蜓眼玻璃珠残片，一为蜻蜓眼</td></tr>
<tr><td>HB-6</td><td>湖北随县，曾侯乙墓出土</td><td>眼部残片，中心为深蓝色，二为蓝色嵌褐白双色眼纹珠残片</td></tr>
<tr><td>CQ-01</td><td>宝成路南段出土</td><td>浅绿色谷纹玻璃璧，外径11.9 cm，内径3.8 cm，厚度0.3 mm</td></tr>
<tr><td>CQ-09（黑色）</td><td rowspan="3">重庆巴县冬笋坝出土</td><td rowspan="3">黑色玻璃嵌绿白色蜻蜓眼珠，眼部由绿白双色的环带组成，眼中心为绿色，眼部有6重、4重和2重3种形式，眼分布在由双层小白点织成的网状图纹的交汇点及网格内；内径1.3 cm，外径2.4 cm</td></tr>
<tr><td>CQ-10（绿色）</td></tr>
<tr><td>CQ-11（白色）</td></tr>
<tr><td>CQ-19（蓝色基底）</td><td rowspan="2">巴蜀墓出土，地点不详</td><td rowspan="2">蓝色嵌蓝白色蜻蜓眼珠，残缺</td></tr>
<tr><td>CQ-20（眼部浅蓝）</td></tr>
<tr><td>SX-12（第一颗天蓝色部分）</td><td rowspan="4">重庆开县三峡库区余家坝出土</td><td rowspan="4">深蓝玻璃嵌天蓝色、白色蜻蜓眼珠，半透明~透明，眼为4重，每颗珠嵌6眼，交错分布；嵌单层小白点组成的网纹；外径0.8~0.9 cm，孔径约0.4 cm</td></tr>
<tr><td>SX-13（第一颗深蓝色部分）</td></tr>
<tr><td>SX-14（第二颗天蓝色部分）</td></tr>
<tr><td>SX-15（第二颗蓝色部分）</td></tr>
</table>

表2 战国时期玻璃样品的化学成分分析结果

编号	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	K_2O	Al_2O_3	PbO	BaO	CuO	Fe_2O_3	TiO_2	ZnO	MnO	SO_3	P_2O_5	其他	检测方法
XJ-5A	77.92	0.82	1.97	0.36	15.60	1.63	0.005	0.03	0.91	0.57	0.12	0.02	0.01				ICP
XJ-5B	78.71	0.81	2.36	0.47	14.18	1.63	0.005	0.02	1.19	0.43	0.06	0.06	0.02			Sb_2O_5 0.02	ICP
XJ-6A	63.09	18.71	4.66	2.74	2.27	4.42	0.02	0.11	1.33	0.67	0.17	0.05	0.05		0.41	Ci 1.11	ICP，PIXE
XJ-6B	62.66	17.36	6.38	3.76	3.86	4.23		0.10	0.56	0.80	0.16	0.01	0.06				ICP
XJ-46	20.18	2.20	1.90	0.28	0.36	1.00	47.14	14.62	0.06	12.03	0.05		0.01		0.11	Sb_2O_5 0.04	ICP
HB-3	71.26	1.81	2.37	1.75	10.71	6.83	0.98	0.14	2.64	1.19	0.16		0.11		0.51		PIXE
HB-1（蓝）	82.21		10.32		0.73	3.39			2.10		0.08						PIXE
HB-1（蓝）	79.20	1.91	8.64	0.75	0.61	5.18	0.06		1.59	0.42	0.07					SrO 0.07	EDXRF
HB-1（蓝）	88.73	0.30	5.00	0.62	0.10	3.77	0.01		0.01	0.93	0.04						EDXRF
HB-6（眼部蓝）	79.73	7.82	6.07	0.26	0.61	3.00	0.03		0.20	1.31	0.05	0.03	0.01		0.25	SrO 0.04	EDXRF
HB-6（蓝色基底）	79.67	7.97	6.03	0.53	0.60	3.07	0.02		0.20	1.3	0.05	0.03	0.01			SrO 0.04	EDXRF
HB-6（眼部褐）	83.71	4.68	6.05	0.38	0.62	3.15	0.08		0.02	0.33	0.05	0.01	0.01			SrO 0.07	EDXRF
CQ-01	48.37		2.35		4.51	9.65	19.20	6.52	0.11	1.74	0.21			7.35			PIXE
CQ-09	48.41		3.86		2.05	6.82	25.53	6.87	0.30	4.06	0.05		0.03	0.87	0.96	CbO 0.18	PIXE
CQ-10	64.83		1.66		1.94	5.77	16.77	3.65	0.40	1.35	0.04			2.90	0.69		PIXE
CQ-11	68.31		0.60		0.87	3.73	20.32	4.72	0.06	0.40				0.61	0.39	CbO 0.01	PIXE
CQ-19	34.07		1.67		1.37	7.91	11.47	8.78	1.49	2.29				1.78	29.20		PIXE
CQ-20	56.72		0.87		0.46	4.16	15.76	11.61	1.51	1.03					7.73	CbO 0.04	PIXE
SX-12	58.52		0.63		0.35	2.98	27.79	7.47	1.00	0.30					0.91	CbO 0.01	PIXE
SX-13	59.62		0.98		0.35	3.51	27.37	6.59	0.43	0.22					0.89		PIXE
SX-14	58.53		0.57		0.51	2.65	28.78	6.97	0.64	0.27					1.07		PIXE
SX-15	59.53		0.58		0.51	2.23	28.5	6.73	0.75	0.26					0.84	CbO 0.01	PIXE
曾侯乙墓蜻蜓眼珠E.C.11：240	56.01	6.99	4.07	2.24	2.60	1.37	2.80	0.05	0.37	1.02			0.04				
四川，战国时期蜻蜓眼珠	70.86	0.89	5.35	0.84	14.34	2.70	0.76		2.63	1.26	0.22		0.11				

B.8 古代镶嵌玻璃珠[11]

表1 实验选用的镶嵌玻璃珠概要情况

样品编号	出土或采集地点	年代	器物概况
XJ-1B	新疆拜城克孜尔水库墓地，90BKKM26：6	西周至春秋	嵌2个蓝白色蜻蜓眼的绿色玻璃珠，外径约1.1 cm，内径约0.5 cm，形状不规则，高0.5~1.0 cm，不透明
XJ-1C	新疆拜城克孜尔水库墓地，90BKKM26：6	西周至春秋	嵌2个蓝白色蜻蜓眼的蓝色玻璃珠，2个眼部对称分布，外径约1.5 cm，内径约0.4 cm，形状不规则，高0.8~1.4 cm，不透明
XJ-7A	新疆和田，洛浦县山普拉墓地	3—4世纪（汉—晋）	深蓝玻璃嵌多个白蓝白环带形成的三重"蜻蜓眼"饰。内径0.6 cm，外径1 cm
XJ-40	新疆和田，洛浦县山普拉墓地	汉—晋	蜻蜓眼残片，蓝色玻璃镶嵌黑、褐、黄三色蜻蜓眼饰
XJ-42A	新疆和田，阿克斯皮力古城	唐—宋	蜻蜓眼玻璃珠，眼部为红、黄双色，其余部分为搅胎制作的绿、白、黑色交替条纹（汉代？）
XJ-42B	新疆和田，阿克斯皮力古城	唐—宋	蜻蜓眼玻璃珠，黑色基体，眼部为绿色玻璃镶嵌在白色烧结体中（汉代？），珠体直径约1.9 cm，高1.6 cm；中间穿孔直径0.7 cm；眼部为椭圆形，长径约1.0 cm
HB-1	河南淅川徐家岭楚墓出土	战国早期	蓝色珠体残片，带棕、白的"蜻蜓眼"
HB-6	湖北随县曾侯乙墓出土	战国早期	2个蜻蜓眼玻璃珠残片，一为蜻蜓眼眼部残片，中心为深蓝色；二为蓝色嵌褐白双色眼纹珠残片
GD01	广东肇庆市松山县	战国	蓝色半透明状，圆形有孔，蓝色嵌蓝、白双色玻璃蜻蜓眼珠，长径1.8 cm，孔径0.9 cm
M13：15	四川青川郝家坪M13：15	战国	黑色嵌蓝、黄双色蜻蜓眼玻璃珠，外径2.4 cm，内径0.6 cm
M13：16	四川青川郝家坪M13：16	战国	黑色嵌蓝、黄双色蜻蜓眼玻璃珠，外径2.4 cm，内径0.6 cm

表2 实验选用的镶嵌玻璃珠化学成分分析结果

编号	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	K_2O	Al_2O_3	PbO	BaO	CuO	Fe_2O_3	TiO_2	ZnO	MnO	Cl	P_2O_5	SO_3	其他	方法
XJ-1B（绿）	73.99		4.68	5.6		1.6	0.09		1.2	0.71	0.09				10.79	1.2		EDXRF
XJ-1B（绿）	83.74		5.92		0.45	0.33	0.31		0.94	1.23	0.18		0.06	0.82	4.84	1.15		PIXE
XJ-1B（白）	17.02		57.62	1.47	1.16	1.05	17.07			2.04					2.57			EDXRF
XJ-1C（蓝）	72.81	2.1	5.18	7.01	1.25	2.32					0.13				0.92			EDXRF
XJ-1C（蓝）	79.48		7.56		1.78	0.96	0.12		1.99	1.32	0.27		0.89	0.85	3.07		1.67	PIXE
XJ-1C（白）	23.01		68.78		0.28	1.65	2.41		0.25	0.29			0.09	0.30	0.46	2.42		PIXE
XJ-7A（蓝）	81.32		7.99		1.05	3.11			0.48	1.26	0.09		1.88	1.03	0.21	1.33	CoO 0.25	PIXE
XJ-7A（白）	78.75		9.41		0.19	2.29	0.89		0.29	1.84	0.13		0.23	2.04	0.71	3.15	CoO 0.10	PIXE
XJ-40（蓝）	87.91		2.28		1.95	5.83			1.53	0.5								EDXRF
XJ-42A（红）	71.63		9.25		4.04	6.50	0.66	0.16	3.79	2.48	0.33		0.08		0.45			PIXE
XJ-42A（黑）	73.12		12.52		3.91	5.89	0.02	0.06	0.37	2.51	0.48		0.10		0.12			PIXE
XJ-42A（白）	73.22		11.42		3.87	6.05	0.65	0.08	0.28	2.29	0.30		0.07		0.19			PIXE
XJ-42A（绿）	73.63		9.86		4.30	5.24	1.46	0.05	2.08	2.03	0.28		0.10		0.42			PIXE
XJ-42A（黄）	66.17		9.35		3.81	4.86	13.07	0.09	0.53	1.57	0.16		0.06		0.32			PIXE
XJ-42A（绿）	70.66		10.44		3.85	6.06	2.51		2.54	2.89	0.29		0.08				SrO 0.07	EDXRF
XJ-42A（黑）	71.91	6.49	5.6	2.17	2.66	5.27	0.65		2.13	1.09	0.18		0.03		0.49	1.2		EDXRF

（续表）

编 号	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	K_2O	Al_2O_3	PbO	BaO	CuO	Fe_2O_3	TiO_2	ZnO	MnO	Cl	P_2O_5	SO_3	其他	方 法
XJ-42B（黑）	56.98	3.36	1.13	0.16	0.44	2.39	23.7	1.34	2.86	4.44				0.54			Ce_2O_3 0.13	EDXRF
XJ-42B（白）	68.46		0.78		0.68	2.07	25.38	1.10	0.11	0.65	0.03		0.01		0.74			PIXE
XJ-42B（绿）	49.35		2.25		0.37	3.19	34.24	7.78	0.64	0.82			0.01		0.97			PIXE
XJ-42B（黑）	43.52		1.49		0.76	3.65	31.28	1.43	5.28	9.96	0.06		0.03		2.51			PIXE
HB-1	82.21		10.32		0.73	3.39			2.10		0.08							PIXE
HB-1（蓝）	79.20	1.19	8.64	0.75	0.61	5.18	0.06		1.59	0.42	0.07						SrO 0.07	EDXRF
HB-1（褐）	88.73	0.30	5.00	0.62	0.10	3.77	0.01		0.01	0.93	0.04						SrO 0.04	EDXRF
HB-6（眼部蓝）	79.73	7.82	6.07	0.26	0.61	3.00	0.03		0.20	1.31	0.05	0.03	0.01		0.25		SrO 0.04	EDXRF
HB-6(蓝色基体)	79.67	7.97	6.03	0.53	0.60	3.07	0.02		0.20	1.3	0.05	0.03	0.01				SrO 0.04	EDXRF
HB-6（眼部褐）	83.71	4.68	6.05	0.38	0.62	3.15	0.08		0.20	0.33	0.05	0.03	0.01				SrO 0.07	EDXRF
GD01（眼部白）	54.41		2.03		2.98	14.37	11.82	9.87	0.13	2.72	0.07		0.01		0.53	1.07		PIXE
GD01（蓝色基体）	49.95		2.87		1.81	9.01	18.58	15.82	0.06	1.43			0.00		0.45			PIXE
GD01（眼部蓝）	49.39		4.34		1.34	8.70	19.95	13.47	0.09	1.84			0.03		0.82			PIXE
M13：15（黑色基体）	54.72		1.27		0.47	3.05	25.16	11.82	2.54	0.44			0.00		0.50			PIXE
M13：15(眼部绿)	47.83		1.01		0.68	2.75	31.31	11.69	0.89	0.63			0.00		0.00	3.22		PIXE
M13：15(眼部黄)	35.21		1.11		0.94	9.14	35.40	9.82	0.12	2.59			0.06		0.05	5.52		PIXE
M13：16(眼部绿)	49.72		1.07		0.66	2.29	30.32	11.46	1.00	0.60			0.00		0.55	2.33		PIXE
M13：16(眼部黄)	42.29		1.09		0.61	5.05	33.72	11.40	0.39	1.63			0.03		0.37	3.42		PIXE
M13：16(眼部黄)	34.49		1.27		0.74	7.24	37.35	10.85	0.22	2.60			0.02		0.36	4.83		PIXE
M13：16（黑色基体）	53.46		1.14		0.44	2.99	25.72	12.25	2.86	0.39					0.73			PIXE

C. 便携式X射线荧光光谱（pXRF）和激光剥蚀电感耦合等离子体原子发射光谱（LA-ICP-AES）

C.1 湖北荆州出土的古代玻璃[12]

表1 湖北荆州出土的战国时期玻璃珠的概要情况

样品编号	名 称	出 土 地 点	样 品 描 述
5：2271	蜻蜓眼玻璃珠	荆州楚墓	球形，基体为蓝绿色，装饰有菱形点线纹，眼珠由绿白相间条纹组成，向外凸起，完整
5：3491	蜻蜓眼玻璃珠	荆州楚墓	圆柱形，基体为深蓝色，表面饰黄白色纹饰，完整
5：6055	蜻蜓眼玻璃珠	荆州楚墓	圆柱形，基体为蓝色，眼部由白蓝双色组成，完整
5：6855	蜻蜓眼玻璃珠	荆州楚墓	圆柱形，基体为深蓝色，垂直珠孔有多条白色实线纹，眼部由白蓝双色组成，完整
5：7053	蜻蜓眼玻璃珠	荆州楚墓	球形，蓝色基体，装饰有菱形点线纹，眼部有绿白双色组成，较完整
PM66：2	玻璃珠残片	荆州熊家冢墓地	残损严重，基体应为蓝绿色
PM66：3	蜻蜓眼玻璃珠	荆州熊家冢墓地	球形，基体为白色，眼部由深蓝色、白色、棕色相间条纹组成，完整
PM66：5	蜻蜓眼玻璃珠	荆州熊家冢墓地	球形，基体为蓝绿色，眼部由白黄双色组成，较完整

表2 湖北荆州出土的战国时期蜻蜓眼珠pXRF化学成分分析测试结果

（%）

编号	测试点	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CoO	CuO	BaO	PbO	Sb_2O_3	SnO_2	SrO	体系
5：2271	蓝绿色眼部	4.21	0.62	4.62	67.89	0.61	1.08		0.04		0.61		1.17	3.47	15.57			0.03	铅钡
5：7053	绿色眼部	1.75	0.82	8.97	67.32	0.84	0.26		0.07		0.96		0.40	4.97	13.63			0.04	铅钡
5：7053	蓝色基体	1.93	0.71	7.17	66.63	0.44	0.03		0.10		0.54		0.61	5.79	15.97			0.05	铅钡
5：3491	黄色部分	3.07	0.38	2.63	65.08	1.07	0.57		0.07		2.11		Cu 175×10^{-6}	5.06	19.96			0.02	铅钡
5：3491	蓝色部分	3.32	0.51	2.05	66.32	0.10	1.48		0.17		0.63	0.14	Cu 204×10^{-6}	6.76	18.42			0.03	铅钡
5：6855	蓝色基体	1.83	0.33	4.43	71.33	0.39	0.59		0.05		0.44	0.07	Cu 194×10^{-6}	6.51	14.01			0.03	铅钡
5：6055	蓝色基体	6.42	1.93	7.65	64.58	4.23	5.52		0.03	0.08	0.98	0.11	1.59	5.89	0.04	0.71		0.23	钠钙
5：6055	蓝色眼珠	3.69	1.41	12.97	63.75	2.92	5.09		0.01	0.73	1.81	0.20	0.44	5.70	0.26	0.86		0.18	钠钙
PM66：2	蓝绿色基体	3.00	3.04	9.24	69.32	2.29	5.75	0.39		0.08	2.23		3.84			0.44	0.10	0.04	钠钙
PM66：3	蓝色眼珠	6.13	0.65	4.31	72.71	1.26	8.76			0.04	2.76	0.18	0.27			3.04		0.07	钠钙
PM66：3	白色基体	1.44	1.02	12.83	68.40	1.36	7.73	0.28	P_2O_5 1.21	0.05	1.29					4.21		0.05	钠钙
PM68：5	绿色部分	8.37	0.72	6.92	67.85	2.07	8.85	0.13	0.01	0.03	0.88		2.64		0.19	0.70	0.44	0.05	钠钙
PM68：5	白黄眼珠	1.12	0.76	6.64	76.32		10.04	0.15		0.05	1.01					3.67	0.14	0.04	钠钙

C.2 广西合浦出土的汉代钾玻璃珠[13]

表1 广西合浦出土的汉代玻璃样品信息

样品编号	年代	出土地点	样品描述
XZHM-06-01			淡绿色，透明
XZHM-06-02			蓝色，半透明
XZHM-06-02B			蓝色，半透明
FMLM26-2			淡绿色，透明
FMLM26-4	前32—公元25	合浦县风门岭M26	蓝色，半透明
FMLM26-5			蓝色，半透明
03HFM26-83-1			蓝色，半透明
GX-3			蓝色，半透明
GX-4			蓝色，半透明
XZHM-06-05	东汉晚期	合浦县风门岭	蓝色，半透明
XZHM-06-06	东汉早期	合浦县九只岭M5	蓝色，半透明
XZHM-06-07	西汉晚期	合浦县风门岭	蓝色，半透明
XZHM-06-08	西汉晚期	合浦县风门岭	砖红色，不透明
FMLM23B-2	西汉晚期	合浦县风门岭M23	蓝色，半透明
FMLM23B-3	西汉晚期	合浦县风门岭M23	蓝色，半透明
FMLM28-1	东汉晚期	合浦县风门岭M28	蓝色，半透明
FMLM28-2	东汉晚期	合浦县风门岭M28	蓝色，半透明
FMLM28-13	东汉晚期	合浦县风门岭M28	蓝色，半透明
JZLM5-1A	东汉早期	合浦县九只岭M5	蓝色，半透明
JZLM5-1B	东汉早期	合浦县九只岭M5	蓝色，半透明
JZLM5-1C	东汉早期	合浦县九只岭M5	棕色，半透明
JZLM5-1D	东汉早期	合浦县九只岭M5	蓝色，半透明
JZLM5-5	东汉早期	合浦县九只岭M5	蓝色，半透明
JZLM5-6	东汉早期	合浦县九只岭M5	蓝色，半透明
JZLM5-7	东汉早期	合浦县九只岭M5	蓝色，半透明
JZLM5-9	东汉早期	合浦县九只岭M5	蓝色，半透明
JZLM5-10	东汉早期	合浦县九只岭M5	蓝色，半透明
JZLM5-11	东汉早期	合浦县九只岭M5	紫红色，半透明
JZLM5-15	东汉早期	合浦县九只岭M5	淡绿色，半透明
JZLM5-16	东汉早期	合浦县九只岭M5	绿色，半透明
JZLM5-17	东汉早期	合浦县九只岭M5	棕色，半透明
08HLWM15-1	东汉晚期	合浦县寮尾	蓝色，半透明
08HLWM17-3	东汉晚期	合浦县寮尾	蓝色，半透明
08HLWM19B-1	东汉晚期	合浦县寮尾	蓝色，半透明
08HLWM19B-5	东汉晚期	合浦县寮尾	蓝色，半透明
08HLWM19B-6	东汉晚期	合浦县寮尾	蓝色，半透明
08HLWM19B-8	东汉晚期	合浦县寮尾	蓝色，半透明

表2　广西合浦出土的汉代玻璃样品pXRF化学成分测试结果(一)　(%)

样品编号	Na_2O	MgO	SiO_2	P_2O_5	K_2O	Al_2O_3	CaO	TiO_2	MnO_2	Fe_2O_3	CuO	BaO	类别
XZHM-06-01	0.96	0.57	75.56	0.77	16.64	2.98	1.56	0.20	0.06	0.55	n.d.	0.13	I,I'
XZHM-06-02	0.64	0.90	72.24	0.94	14.32	4.92	1.98	0.32	1.31	1.81	0.24	0.20	II,II'
XZHM-06-02B	0.75	0.67	75.44	0.48	14.55	3.81	1.18	0.24	1.06	1.45	0.03	0.19	II,II'(T)
FMLM26-2	1.12	0.45	76.68	1.42	15.28	2.64	1.46	0.20	0.05	0.54		0.15	I,I'
FMLM26-4	1.04	0.25	74.68	0.47	16.33	3.46	0.91	0.22	1.12	1.18	0.02	0.17	II,I'(T)
FMLM26-5	0.68	0.46	73.33	0.71	15.96	4.21	0.92	0.29	1.48	1.38	0.24	0.17	II,II'
03HFM26-83-1	0.85	0.81	70.23	0.54	18.64	3.99	0.77	0.37	1.68	1.49	0.27	0.17	II,II'
GX-3	0.73	0.35	73.99	0.12	15.80	4.29	0.93	0.28	1.49	1.37	0.24	0.23	II,II'
GX-4	1.06	0.81	74.57		15.92	3.53	1.45	0.18	0.69	1.17	0.11	0.06	II,II'(T)
XZHM-06-05	1.14	0.27	66.93		20.84	5.73	1.16	0.41	1.77	1.34	0.02	0.24	II,II'
XZHM-06-06	0.75	0.82	72.08	0.31	17.92	3.64	1.14	0.32	1.47	1.05	0.03	0.34	II,II'
XZHM-06-07	0.59	0.69	71.05	0.21	18.14	2.74	1.50	0.28	1.91	2.34	0.02	0.26	I,I'
XZHM-06-08	0.53	3.63	58.87	0.54	22.82	2.64	4.80	0.54	0.16	1.63	3.71	0.12	I,I'
FMLM23B-2	0.63	0.29	77.24	0.49	13.83	2.04	1.52	0.24	1.48	1.77	0.02	0.24	I,I'
FMLM23B-3	0.81	0.45	77.54	0.50	12.83	2.13	1.52	0.24	1.61	1.90	0.03	0.23	I,I'
FMLM28-1	1.29	0.21	67.49	0.16	20.22	5.70	1.04	0.41	1.77	1.31	0.02	0.24	II,II'
FMLM28-2	1.22	0.29	69.29		18.74	5.61	0.93	0.41	1.88	1.44	0.02		II,II'
FMLM28-13	0.88	0.78	70.22		19.11	4.57	0.51	0.36	1.83	1.37	0.01	0.21	II,II'
JZLM5-1A	0.73	0.45	72.03	0.50	16.71	4.26	1.09	0.46	1.49	1.63	0.30	0.22	II,II'
JZLM5-1B	0.71	0.56	72.47	0.48	16.16	4.31	1.08	0.44	1.48	1.60	0.29	0.28	II,II'
JZLM5-1C	1.11	0.81	76.13		11.20	2.37	0.95	0.14	4.92	1.98	0.04	0.20	I,I'(T)
JZLM5-1D	0.66	0.41	72.08	0.46	16.35	5.37	0.81	0.41	1.40	1.49	0.31	0.13	II,II'
JZLM5-5	0.90	0.45	74.19	0.79	16.03	3.81	0.85	0.31	1.32	0.88	0.03	0.33	II,II'
JZLM5-6	0.62	0.44	73.28	0.48	15.65	4.97	0.73	0.37	1.38	1.47	0.22	0.25	II,II'
JZLM5-7	0.82	0.71	72.25		18.43	4.16	0.73	0.25	0.03	0.49	1.86		II,II'
JZLM5-9	0.75	0.79	72.97		16.32	4.70	0.48	0.38	1.48	1.58	0.31	0.11	II,II'
JZLM5-10	0.93	0.43	73.23	0.41	15.61	4.96	0.73	0.37	1.37	1.49	0.26	0.10	II,II'
JZLM5-11	1.59	0.19	78.12		13.14	2.77	0.34	0.16	2.49	0.79		0.31	I,I'(T)
JZLM5-15	1.71	0.40	75.20	0.81	13.33	3.97	2.33	0.12	0.06	0.61	1.02	0.13	II,II'(T)
JZLM5-16	0.79	0.47	74.37	0.41	16.07	4.44	0.77	0.24	0.03	0.45	1.72	0.06	II,II'
JZLM5-17	1.02	0.55	73.20		14.50	3.09	1.02	0.16	4.45	1.79	0.04	0.17	I,I'(T)
08HLWM15-1	0.76	0.68	72.20		18.45	3.54	0.91	0.23	1.40	0.93	0.07	0.23	II,II'
08HLWM17-3	0.82	0.58	65.82		21.00	2.53	1.50	0.43	3.84	2.85	0.03	0.30	I,I'
08HLWM19B-1	0.69	0.87	80.07	0.42	7.83	4.05	1.71	0.29	1.75	1.81	0.02	0.27	I,II'
08HLWM19B-5	1.06	0.74	74.32	0.31	15.86	2.68	1.61	0.22	1.46	1.41	0.02	0.12	I,I'
08HLWM19B-6	0.88	0.72	73.82	0.63	16.41	2.83	1.43	0.23	1.32	1.37	0.02	0.16	I,I'
08HLWM19B-8	0.63	0.61	65.83		21.41	2.42	1.51	0.46	3.71	2.81	0.03	0.28	I,I'

表3 广西合浦出土的汉代玻璃样品pXRF化学成分测试结果(二)

($\times 10^{-6}$)

样品编号	Co	Zn	Rb	Sr	Sn	Pb	类别
XZHM-06-01		84	58	83		48	I,I'
XZHM-06-02	776	119	355	18	108	831	II,II'
XZHM-06-02B	640	65	266	21		220	II,II'(T)
FMLM26-2		71	60	95	62	54	I,I'
FMLM26-4	586	100	195			50	II,I'(T)
FMLM26-5	670	68	381	10	28	89	II,II'
03HFM26-83-1	685	72	376	18	33	129	II,II'
GX-3	728	80	393	12	50	74	II,II'
GX-4	346	51	207	12	220	3 197	II,II'(T)
XZHM-06-05	537	74	514			50	II,II'
XZHM-06-06	383	74	376		99	532	II,II'
XZHM-06-07	935	88	63	43		44	I,I'
XZHM-06-08		76	89	104		82	I,I'
FMLM23B-2	811	63	56	38		43	I,I'
FMLM23B-3	871	123	60	33	30	33	I,I'
FMLM28-1	554	75	481			38	II,II'
FMLM28-2	561	64	454			90	II,II'
FMLM28-13	314	59	345			63	II,II'
JZLM5-1A	421	56	366			24	II,II'
JZLM5-1B	449	60	355			30	II,II'
JZLM5-1C		90	171	14	27	783	I,I'(T)
JZLM5-1D	457	61	385		43	26	II,II'
JZLM5-5	396	83	395	3	63	624	II,II'
JZLM5-6	466	49	359			35	II,II'
JZLM5-7		43	302		177	1 532	II,II'
JZLM5-9	351	39	337			40	II,II'
JZLM5-10	471	41	365			45	II,II'
JZLM5-11		95	122			76	I,I'(T)
JZLM5-15		24	204		860	1 723	II,II'(T)
JZLM5-16		48	308		250	1 396	II,II'
JZLM5-17		59	224	27	57	917	I,I'(T)
08HLWM15-1	260	109	388	8	610	4 175	II,II'
08HLWM17-3	1 165	90	135	35		32	I,I'
08HLWM19B-1	756	69	110	58		45	I,II'
08HLWM19B-5	662	68	98	54		25	I,I'
08HLWM19B-6	607	87	87	48		33	I,I'
08HLWM19B-8	1 243	89	145	41		36	I,I'

C.3 中国战国时期的钾钙硅酸盐玻璃器[14]

表1 中国出土的战国时期钾钙硅酸盐玻璃器样品信息

样品编号	原始编号	年 代	出土地点
JS-TB-1	HSB 146-2		
JS-TB-2	HSB 146-3		
JS-TB-3	HSB 146-4		
JS-TB-4	HSB 146-5	战国早期	江苏鸿山越墓
JS-TB-5	HSB 146-6		
JS-MB-1	HSB 147-3		
JS-MB-2	HSB 147-4		
HB-TB-1	5.29540（45）		
HB-TB-2	5.29540（34）		
HB-TB-3	5.29540（30）	战国中晚期	湖北省江陵九店M11：18
HB-TB-4	5.29540（22）		
HB-TB-5	5.29540（15）		
HB-TB-6	5.29914（1）	战国中晚期	湖北省江陵九店M636：10
HB-TB-7	5.29914（4）		
HB-EB-1	5.29551	战国中晚期	湖北省江陵九店M294：52-2-2
HB-EB-2	5.29552	战国中期	湖北省江陵九店M294：52-2-3
HB-EB-3	5.29946	春秋晚期	湖北省江陵九店M657：11
HB-MB-1			
HB-MB-2	5.29943	战国中晚期	湖北省江陵九店M652：2
HB-MB-3			
HB-MB-4	5.29829	战国中晚期	湖北省江陵九店M545：5
HN-EB-1		战国晚期	湖南省澧县新洲墓M1：17
HN-EB-2			湖南省澧县新洲墓M1：12

表2 中国出土的战国时期钾钙硅酸盐玻璃器样品pXRF化学成分测试结果（一） （%）

编 号	测试区域	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	FeO	CuO
JS-TB-1	基体	1.41	1.12	3.23	72.04	0.89	12.54	4.48	0.19	0.13	1.10	2.87
JS-TB-2	基体	0.85	1.22	4.54	73.28	0.77	11.22	4.94	0.23	0.10	1.18	1.67
JS-TB-3	基体	1.02	1.00	3.45	71.36	1.06	13.16	4.61	0.21	0.12	1.12	2.90
JS-TB-4	基体	0.92	1.09	3.43	69.79	1.10	15.53	5.03	0.20	0.14	1.16	1.61
JS-TB-5	基体	1.49	0.92	3.90	72.09	0.87	12.03	4.03	0.17	0.09	0.98	3.42
JS-MB-1	基体	1.19	0.78	3.86	70.75	0.57	14.16	4.43	0.24	0.11	1.40	2.51
JS-MB-2	基体	0.88	0.98	3.60	70.86	0.76	14.61	4.74	0.20	0.12	1.08	2.18
HB-TB-1	基体	1.12	0.86	3.81	71.58	0.17	13.31	4.13	0.16	0.11	1.13	3.62
HB-TB-2	基体	1.13	0.90	4.10	69.44	0.53	14.33	4.39	0.22	0.11	1.15	3.68
HB-TB-3	基体	1.18	0.88	4.15	69.48	0.72	14.10	4.32	0.21	0.12	1.16	3.69
HB-TB-4	基体	1.04	0.89	2.62	74.11	0.55	13.06	3.60	0.13	0.10	0.87	3.02
HB-TB-5	基体	1.15	1.04	3.32	72.99	0.56	14.07	3.85	0.19	0.11	1.13	1.59

（续表）

编　号	测试区域	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	FeO	CuO
HB-TB-6	基体	0.98	0.88	4.13	71.84	0.14	14.47	3.84	0.26	0.10	1.29	2.07
HB-TB-7	基体	0.98	0.85	5.03	71.82		13.52	3.78	0.25	0.10	1.48	2.20
HB-EB-1	蓝色眼珠	1.70	0.95	2.80	71.37	0.17	14.39	4.06	0.20	0.11	1.16	3.10
HB-EB-1	基体	1.48	0.81	3.67	70.34	0.44	13.46	4.08	0.22	0.12	1.15	4.23
HB-EB-1	白色眼圈	1.61	0.85	3.06	74.80	0.27	11.88	3.77	0.20	0.12	1.01	2.44
HB-EB-2	蓝色眼珠	1.41	0.92	3.14	71.73	0.44	14.09	3.98	0.20	0.10	1.13	2.84
HB-EB-3	眼珠	1.21	0.85	5.63	71.23	0.46	12.16	4.23	0.25	0.11	1.41	2.47
HB-MB-1	基体	1.18	1.11	5.61	70.09	0.38	13.42	4.19	0.21	0.13	1.22	2.46
HB-MB-2	基体	1.02	1.07	3.32	74.88		12.31	3.89	0.15	0.11	1.07	2.18
HB-MB-3	基体	1.36	1.09	3.68	75.61		11.28	3.57	0.16	0.12	1.14	1.99
HB-MB-4	基体	1.37	0.88	4.85	76.93		8.10	3.79	0.87	0.11	1.51	1.59
HN-EB-1	基体	0.93	0.88	4.52	71.54		11.77	4.65	n.d.	0.19	1.83	2.09
HN-EB-2	基体	0.86	1.07	4.97	68.73		13.28	4.60	0.26	0.12	1.31	4.80

表3　中国出土的战国时期钾钙硅酸盐玻璃器样品pXRF化学成分测试结果（二）　（$\times 10^{-6}$）

编　号	测试区域	Cr	Ni	Zn	Rb	Sr	Sn	Pb	Ba
JS-TB-1	基体	142	39	503	106	103	258	220	37
JS-TB-2	基体	99	32	288	67	102	935	322	61
JS-TB-3	基体	126	9	492	108	111	320	206	32
JS-TB-4	基体	90	26	1 962	111	104	421	597	59
JS-TB-5	基体	114	15	297	87	84	174	145	49
JS-MB-1	基体	79	10	289	88	193	363	158	37
JS-MB-2	基体	129	9	507	106	148	236	210	48
HB-TB-1	基体	92	16	200	73	101	114	325	33
HB-TB-2	基体	120	36	249	94	129	294	413	48
HB-TB-3	基体	94	7	160	93	138	219	229	43
HB-TB-4	基体	45	11	551	73	101	176	303	41
HB-TB-5	基体	55	20	352	73	119	264	317	45
HB-TB-6	基体	74	18	467	95	105	205	192	51
HB-TB-7	基体	64	49	437	87	108	215	200	56
HB-EB-1	蓝色眼珠	59		310	74	86	147	288	41
HB-EB-1	基体	51	21	439	83	127	137	326	37
HB-EB-1	白色眼圈	87	19	479	72	124	107	340	39
HB-EB-2	蓝色眼珠	77	8	333	73	84	142	200	45
HB-EB-3	眼珠	127	19	637	83	94	258	354	34
HB-MB-1	基体	91	27	185	87	145	155	107	37
HB-MB-2	基体	43	8	177	62	113	141	92	33
HB-MB-3	基体	68	18	147	59	75	108	73	39
HB-MB-4	基体	107	8	2 192	90	68	144	531	37
HN-EB-1	基体	72	14	634	115	186	145	PbO：0.96 wt%	BaO：0.64 wt%
HN-EB-2	基体	119	5	237	77	120	461	1 300	53

C.4 新疆丝绸之路上的古代玻璃样品[15]

表1 新疆出土的古代玻璃珠饰样品信息列表

样品编号	出土地点	样品描述	颜色	样品编号	出土地点	样品描述	颜色
J-9-1	策勒县达玛沟遗址	单色拉制珠	蓝绿色	XJ05-6-1	新和县大望库木遗址	单色缠绕珠	蓝绿色
XJ-9-2	策勒县达玛沟遗址	单色缠绕珠	棕色	XJ05-6-2	新和县大望库木遗址	单色拉制珠	蓝绿色
XJ-9-3	策勒县达玛沟遗址	手镯残片	蓝绿色	XJ05-6-3	新和县大望库木遗址	单色	淡蓝绿色
XJ-9-4	策勒县达玛沟遗址	手镯残片	琥珀色	XJ05-6-4	新和县大望库木遗址	单色	黄色
XJ-10-1	策勒县达玛沟遗址	单色缠绕珠	蓝绿色	XJ05-6-5	新和县大望库木遗址	单色拉制珠	淡蓝绿色
XJ-10-2	策勒县达玛沟遗址	单色缠绕珠	绿色	XJ05-6-6	新和县大望库木遗址	单色缠绕珠	棕色
XJ-10-3	策勒县达玛沟遗址	单色拉制珠	蓝绿色	XJ05-6-7	新和县大望库木遗址	分层眼珠	蓝紫,深绿,白
XJ-10-4	策勒县达玛沟遗址	单色	蓝绿色	XJ05-6-8	新和县大望库木遗址	条纹装饰缠绕珠	蓝绿,黑
XJ-10-5	策勒县达玛沟遗址	单色拉制珠	蓝紫色	XJ-7	洛浦县山普拉墓地	分段夹银珠	无色
XJ-10-6	策勒县达玛沟遗址	单色缠绕珠	绿色	XJ-39-1	洛浦县山普拉墓地	单色拉制珠	紫色
XJ-10-7	策勒县达玛沟遗址	单色拉制珠	棕色	XJ-39-2	洛浦县山普拉墓地	单色拉制珠	紫色
XJ-10-8	策勒县达玛沟遗址	多面体珠，宝石学加工工艺	蓝绿色	XJ-40-1	洛浦县山普拉墓地	单色拉制珠	红色
XJ05-3-1	民丰县尼雅遗址	条纹装饰缠绕珠	黑色	XJ-40-2	洛浦县山普拉墓地	马赛克眼珠	蓝绿，红，黄,黑
XJ05-3-2	民丰县尼雅遗址	分段夹金珠,拉制	无色	XJ05-2-1	轮台县克尤克沁古城	折叠珠	蓝绿
XJ05-3-3	民丰县尼雅遗址	条纹装饰缠绕珠	黑色	XJ05-2-2	轮台县克尤克沁古城	单色拉制珠	蓝绿
XJ05-3-4	民丰县尼雅遗址	条纹折叠珠	黑色	XJ05-5-1	巩留县红旗厂墓葬	多面体珠，宝石学加工	浅绿色
XJ05-3-5	民丰县尼雅遗址	折叠圆形条纹珠	黑,白,红	XJ05-5-2	巩留县红旗厂墓葬	单色管	蓝绿色
XJ05-3-6	民丰县尼雅遗址	折叠圆形条纹珠	黑,白	XJ-5-1	温宿县,包孜东墓地	多面体珠	蓝紫色
XJ05-3-7	民丰县尼雅遗址	分层眼珠	蓝绿,黑,白	XJ-5-2	温宿县,包孜东墓地	单色拉制	绿色
XJ05-3-8	民丰县尼雅遗址	折叠条纹珠	黑,白	XJ05-8-1	库车县玛扎蒲塘墓葬	多面体	蓝绿色
XJ-8-1	民丰县尼雅遗址	多面体珠,拉制	蓝绿色	XJ05-8-2	库车县玛扎蒲塘墓葬	单色拉制珠	蓝绿色
XJ-8-2	民丰县尼雅遗址	分段珠,拉制	蓝绿色	XJ-21	库车县托盖塔木城堡	单色缠绕珠	蓝绿色
XJ-16-1	柯坪县穷梯木遗址	单色拉制珠	不透明绿色	XJ-23	库车县唐王城遗址	单色拉制珠	绿色
XJ-16-2	柯坪县穷梯木遗址	单色缠绕珠	蓝色	XJ-34	库车县森姆塞姆石窟	分层眼珠	蓝绿,白
XJ-16-3	柯坪县穷梯木遗址	单色缠绕珠	浅绿色	XJ-12-3	和田县买里克尕瓦提遗址	单色拉制珠	绿色
XJ-16-5	柯坪县穷梯木遗址	单色拉制珠	浅蓝色	XJ-41	和田县买里克尕瓦提遗址	单色拉制珠	绿色
XJ-16-6	柯坪县穷梯木遗址		蓝绿,棕,白	XJ-42-1	和田县阿克斯皮力古城	马赛克珠	黑，蓝绿，红,黄
XJ-16-7	柯坪县穷梯木遗址	单色缠绕珠	蓝	XJ-42-2	和田县阿克斯皮力古城	分层眼珠	黑,蓝绿,白
XJ-16-8	柯坪县穷梯木遗址	单色珠	蓝绿色	XJ05-4	拜城库木鲁克艾肯墓地	多面体缠绕珠	蓝绿色
XJ-16-9	柯坪县穷梯木遗址	单色缠绕珠	绿色	XJ05-7	阿合奇县	单色拉制珠	浅绿色
XJ-16-10	柯坪县穷梯木遗址	仿马赛克珠	棕,黄	XJ-20	轮台县拉伊苏烽燧	单色珠	浅绿色
XJ-16-11	柯坪县穷梯木遗址	分段拉制珠	蓝绿色	XJ05-1	巴楚县吐木秀克遗址	折叠珠	黑,白
XJ-16-12	柯坪县穷梯木遗址	多面体拉制珠	不透明绿色				

表2 新疆出土的古代玻璃珠饰样品pXRF化学成分测试分析结果

编 号	SiO_2	Na_2O	CaO	K_2O	N+K	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ti	MnO	CuO	Co	SnO_2	PbO	P_2O_5	Cl	Ba	Rb	Sr
XJ-9-1	64.8%	16.9%	6.6%	3.0%	20.0%	3.1%	1.5%	0.9%		0.1%	1.6%					1.5%		60	510
XJ-9-2	65.2%	14.7%	8.8%	2.5%	17.2%	3.7%	1.4%	1.1%	263	1.5%	0.0%		0.0%	0.1%		1.0%		38	348
XJ-9-3	62.9%	17.0%	5.6%	6.0%	23.0%	3.0%	1.7%	1.1%	444	0.1%	1.1%					1.3%		71	294
XJ-9-4	60.2%	23.2%	6.0%	2.4%	25.6%	3.4%	1.8%	1.2%	688	0.1%						1.6%		55	576
XJ-10-1	72.0%	8.6%	5.5%	2.3%	11.1%	4.7%	1.5%	0.9%		0.1%	1.4%		1.1%	0.7%		1.3%		31	212
XJ-10-2	66.2%	10.5%	6.6%	2.0%	13.1%	3.4%	1.7%	1.1%	21	0.1%	2.4%		1.1%	4.2%		0.8%		29	220
XJ-10-3	67.6%	11.2%	5.9%	3.3%	14.9%	2.7%	2.6%	1.0%	842	0.1%	1.6%		1.0%	1.4%		1.4%		39	347
XJ-10-4	66.0%	17.3%	5.3%	4.0%	21.3%	1.9%	1.3%	0.8%	50	0.1%	1.9%			0.0%		1.5%		57	245
XJ-10-5	67.5%	12.4%	8.4%	2.1%	14.8%	4.1%	1.4%	1.3%	255	0.1%	0.1%	1 920	0.6%	0.8%		1.0%		38	436
XJ-10-6	68.2%	9.3%	6.8%	2.6%	12.1%	4.1%	1.8%	1.3%	104	0.1%	2.4%		0.4%	1.5%		1.5%		35	317
XJ-10-7	67.9%	13.6%	8.0%	2.7%	16.3%	3.7%	1.0%	0.9%	52	1.0%				0.1%		1.0%		38	359
XJ-10-8	60.7%	23.3%	5.6%	3.2%	26.5%	2.5%	1.4%	1.4%	295	0.1%	0.2%					1.7%		29	390
XJ05-3-1 Bk	64.2%	4.2%	6.0%	4.1%	9.0%	1.9%	4.6%	4.2%	358	1.0%			5.8%	2.2%		1.8%		38	224
XJ05-3-1 W	63.9%	8.3%	6.8%	5.1%	14.1%	2.7%	3.7%	1.8%	426	1.1%			3.9%	1.6%		1.2%		40	266
XJ05-3-2	71.5%	10.5%	10.1%	0.8%	11.3%	1.2%	3.3%	1.1%	248	0.1%				0.0%		1.3%		50	889
XJ05-3-3 Bk	62.0%	9.4%	6.7%	4.1%	13.6%	3.5%	2.4%	9.6%	493	0.6%			1.0%	0.1%		0.7%		43	215
XJ05-3-3 W	61.1%	11.9%	7.4%	4.4%	17.5%	3.8%	2.2%	1.4%	243	0.6%			3.2%	3.4%		0.6%		31	198
XJ05-3-4 Bk	61.1%	9.8%	8.1%	5.2%	15.0%	3.8%	3.0%	7.3%	505	0.1%			0.6%			0.9%		48	265
XJ05-3-4 W	64.8%	5.0%	7.6%	4.1%	9.8%	3.2%	3.7%	3.1%	298	0.1%			2.5%	4.7%		1.2%		34	175
XJ05-3-5 Bk	59.8%	11.5%	7.4%	5.4%	16.9%	3.2%	2.8%	9.6%	822	0.1%			0.2%					53	204
XJ05-3-5 R	63.0%	7.3%	6.0%	3.5%	10.8%	3.0%	5.9%	7.8%	1 315	0.1%	1.1%		0.9%	0.3%		1.0%		45	269
XJ05-3-6 Bk	64.3%	9.0%	7.5%	4.6%	13.6%	3.5%	3.4%	6.3%		0.3%			0.4%	0.1%		0.7%		48	261
XJ05-3-6 W	58.8%	5.2%	6.6%	3.2%	9.0%	2.2%	9.5%	2.7%	190	0.3%	0.1%		3.2%	3.7%		4.3%		34	214
XJ05-3-7 B	63.3%	3.3%	6.0%	2.6%	6.5%	2.9%	6.8%	2.7%	1 054	0.9%	0.0%		8.5%	1.2%		1.6%		40	279
XJ05-3-7 Bk	57.7%	17.3%	4.7%	2.6%	20.7%	2.4%	4.4%	5.1%	1 382	0.9%			3.9%	0.1%		0.8%		61	385
XJ05-3-8	55.9%	13.7%	4.4%	4.0%	17.8%	1.9%	8.5%	9.3%	1 685	0.1%			0.5%	0.0%		1.4%		110	452
XJ-8-1	69.8%	13.4%	2.6%	3.1%	16.5%	0.9%	4.6%	1.3%	1 611	0.2%	2.0%				0.9%	0.6%	3 426	116	207
XJ-8-2	71.3%	7.1%	4.3%	3.2%	10.3%	2.7%	3.5%	1.7%	896	0.1%	4.9%					1.2%		46	253
XJ-16-1	64.9%	18.2%	3.3%	3.1%	22.0%	1.9%	1.7%	1.2%	300	0.1%	0.9%		0.5%	2.5%		1.6%		46	173

（续表）

编　号	SiO_2	Na_2O	CaO	K_2O	N+K	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ti	MnO	CuO	Co	SnO_2	PbO	P_2O_5	Cl	Ba	Rb	Sr
XJ-16-2	70.2%	12.8%	4.9%	4.3%	17.1%	3.1%	1.4%	0.9%		0.1%	1.1%			0.1%		1.2%		60	224
XJ-16-3	66.3%	15.0%	7.0%	3.1%	18.1%	5.2%	1.5%	1.0%	133	0.1%						0.9%		48	437
XJ-16-5	64.6%	19.1%	7.1%	3.1%	22.3%	3.4%	0.8%	0.6%		0.1%				0.0%		1.1%		38	342
XJ-16-6 gB	61.8%	17.0%	7.6%	2.1%	19.3%	3.2%	0.9%	0.5%		0.1%	4.8%		0.9%	0.4%		0.8%		34	314
XJ-16-6 Bn	66.7%	12.6%	9.0%	2.1%	14.8%	3.3%	3.0%	0.8%		0.3%			0.9%	0.1%		1.2%		38	531
XJ-16-6 W	67.1%	11.6%	6.6%	1.2%	13.6%	3.2%	1.9%	0.7%		0.4%			2.6%	3.4%		1.3%		36	209
XJ-16-7	68.0%	13.1%	7.1%	2.1%	15.2%	3.3%	3.1%	1.4%	290	0.1%	0.0%			0.7%		1.0%		35	341
XJ-16-8	66.7%	17.5%	2.4%	2.5%	20.0%	1.2%	4.3%	0.9%	1 376	0.1%	3.3%					1.0%		72	329
XJ-16-9	33.7%	1.1%	0.5%	2.3%	3.4%	0.4%		0.1%			0.1%			61.6%		0.3%		29	25
XJ-16-10 Bn	65.2%	6.9%	7.3%	2.4%	9.9%	4.0%	3.7%	1.0%		0.3%			0.9%	5.6%		2.7%		34	339
XJ-16-10 Y	66.1%	6.7%	6.5%	2.1%	9.8%	3.3%	2.7%	0.8%		0.4%			1.2%	8.8%		1.4%		32	182
XJ-16-11	61.1%	21.7%	5.1%	2.8%	24.7%	2.7%	1.7%	1.1%	322	0.1%	1.5%		0.0%	0.6%		1.5%		50	328
XJ-16-12	61.4%	13.8%	6.0%	2.8%	17.5%	4.5%	1.8%	1.0%	418	0.1%	1.8%		1.0%	4.7%		1.0%		28	234
XJ05-6-1	63.7%	21.7%	4.0%	2.6%	24.3%	2.1%	1.8%	1.1%	625	0.1%	1.1%					1.7%		49	387
XJ05-6-2	66.9%	13.1%	5.5%	2.9%	16.0%	3.2%	2.4%	0.9%	85	0.1%	4.0%					1.0%		70	240
XJ05-6-3	65.8%	19.0%	3.3%	3.2%	22.3%	1.0%	3.8%	0.9%	1 062	0.1%	1.7%					1.0%		80	344
XJ05-6-4	61.6%	9.9%	4.1%	1.3%	13.7%	3.5%	0.2%	0.4%		0.1%	0.0%		2.6%	15.9%		0.5%		34	99
XJ05-6-5	73.5%	2.3%	3.2%	14.4%	16.7%	0.7%	2.4%	0.5%	537		1.6%				0.8%	0.5%		120	65
XJ05-6-6	62.7%	16.1%	8.4%	3.8%	19.8%	4.7%	2.2%	0.9%	532	0.1%						1.1%		49	659
XJ05-6-7 pB	60.8%	7.9%	7.5%	5.2%	14.3%	3.3%	3.9%	1.7%	120	0.5%		1 383	7.2%	1.2%		0.8%		47	381
XJ05-6-7 dG	60.4%	9.5%	7.4%	5.2%	16.0%	3.2%	3.6%	1.5%	124	0.5%			7.1%	1.1%		0.5%		50	328
XJ05-6-7 W	50.2%	12.1%	9.2%	3.5%	17.0%	2.1%	1.7%	0.8%		0.5%			6.9%	1.1%		11.7%		41	320
XJ05-6-8 gB	66.6%	3.4%	1.0%		0.0%	2.3%	0.3%	0.2%			0.2%			21.5%		2.3%	20 490	29	707
XJ05-6-8 Bk	62.8%	2.9%	3.6%	0.0%	3.6%	2.6%	1.2%	4.8%			0.3%		0.1%	17.5%		1.9%	19 749	31	796
XJ-7	75.3%	13.2%	4.2%	1.3%	14.5%	0.3%	1.6%	1.0%	369	1.7%						1.5%		38	350
XJ-39-1	78.7%	1.4%	1.4%	12.3%	13.7%	0.4%	1.1%	0.9%	1 899	3.2%						0.3%		56	29
XJ-39-2	78.7%	1.6%	2.3%	13.4%	15.1%	0.4%	0.5%	0.5%	551	2.2%						0.4%		51	21
XJ-40-1	64.3%	8.5%	3.6%	0.1%	9.9%	0.9%		0.7%		0.3%	7.3%	0	0.2%	12.9%	0.0%	1.2%		29	52
XJ-40-2 Bk	63.2%	13.3%	4.9%	4.0%	17.3%	2.5%	3.3%	1.3%	562	0.1%	1.0%			4.9%		1.1%		39	294
XJ-40-2 gB	71.7%	13.7%	2.6%	2.4%	16.0%	1.0%	3.6%	0.8%	970	0.1%	2.9%			0.3%		0.9%		54	250

（续表）

编号	SiO_2	Na_2O	CaO	K_2O	N+K	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ti	MnO	CuO	Co	SnO_2	PbO	P_2O_5	Cl	Ba	Rb	Sr
XJ-40-2 R	60.5%	14.7%	5.0%	4.1%	20.0%	2.6%	3.7%	1.3%	840	0.1%	1.0%		0.4%	5.3%		1.2%		45	328
XJ-40-2 Y	67.6%	13.1%	3.5%	2.8%	16.9%	1.6%	2.6%	0.8%	518	0.1%	1.2%		0.4%	5.2%		1.0%		39	167
XJ05-2-1	66.3%	15.0%	4.9%	4.0%	19.0%	2.2%	3.5%	0.9%	1 788	0.2%	1.3%					1.2%		72	408
XJ05-2-2	71.7%	10.8%	5.0%	3.3%	14.0%	1.8%	4.0%	1.1%	1 412	0.1%	1.0%					1.0%		74	314
XJ05-5-1	74.7%	6.9%	2.6%	8.7%	15.6%	1.3%	2.9%	0.8%	905	0.0%					1.3%	0.7%		96	282
XJ05-5-2	65.1%	1.4%	2.8%	17.5%	18.9%	0.4%	2.2%	0.3%	221	0.0%	2.1%		7.6%		0.3%	0.2%		112	30
XJ-5-1	74.4%	0.9%	2.0%	17.3%	18.2%	0.5%	2.7%	0.4%	1 044	0.0%	0.6%	532			0.7%	0.1%		145	40
XJ-5-2	75.5%	1.6%	2.2%	15.5%	17.2%	0.6%	1.8%	0.5%	511	0.0%	1.6%					0.5%		141	38
XJ05-8-1	72.8%	1.2%	2.4%	17.8%	19.0%	0.5%	2.4%	0.7%	840	0.0%	0.9%				0.8%	0.4%		145	45
XJ05-8-2	75.8%	1.0%	2.5%	14.6%	15.6%	0.4%	2.4%	0.6%	789	0.0%	1.2%				0.9%	0.4%		151	41
XJ-21	66.9%	14.3%	4.7%	2.4%	17.0%	5.5%	1.2%	0.5%	39	0.1%	1.7%		0.8%	1.1%		1.0%		39	384
XJ-23	59.9%	16.6%	5.4%	3.1%	20.7%	2.6%	3.7%	1.9%	1 136	0.1%	0.9%		0.9%	4.1%		0.8%		49	272
XJ-34 B	71.3%	9.0%	6.2%	3.3%	12.8%	2.7%	0.9%	0.7%		0.6%	0.6%		3.7%	0.2%		0.7%		33	367
XJ-34 gB	63.5%	15.7%	6.9%	3.2%	19.5%	3.8%	1.1%	0.5%	62	0.1%	1.2%		2.2%	0.6%		1.0%		30	570
XJ-34 W	60.8%	8.9%	8.1%	3.2%	13.8%	3.3%	1.9%	0.7%	139	0.4%			9.8%	2.0%		0.7%		31	351
XJ-12-3	65.6%	12.3%	6.8%	1.5%	14.6%	3.5%	1.8%	1.0%	181	0.1%	1.2%		0.9%	4.4%		1.0%		29	231
XJ-41	64.2%	8.6%	8.8%	4.3%	12.8%	4.5%	6.3%	2.1%	1 265	0.1%						1.0%		76	562
XJ-42-1 Bk	65.8%	6.5%	9.2%	2.4%	9.3%	3.0%	3.3%	1.9%	941	0.4%	0.8%		1.2%	1.9%		3.3%	1 687	34	331
XJ-42-1 G, W	68.8%	6.2%	7.6%	2.7%	9.2%	3.5%	3.3%	1.3%	733	0.1%	2.3%		1.3%	1.6%		0.9%	1 233	34	312
XJ-42-1 R	62.6%	7.8%	5.1%	4.8%	13.0%	3.1%	7.1%	1.6%			3.7%		0.8%	2.0%	0.4%	1.0%		39	281
XJ-42-1 Y	65.3%	4.6%	7.5%	2.7%	8.2%	2.4%	2.2%	1.3%	547	0.1%	1.9%		1.9%	8.6%		1.2%	1 361	37	233
XJ-42-2 Bk	63.0%	4.8%	0.3%		0.0%	0.2%	0.3%	7.9%	3 181	0.0%	3.4%			17.0%		1.9%	5 907	29	47
XJ-42-2 gB	66.3%	6.2%	1.6%		0.0%	0.5%		0.4%			0.7%			19.4%		1.6%	30 937	29	290
XJ-42-2 W	77.5%	1.9%			0.0%	0.2%	0.2%	0.9%			0.5%		0.0%	17.5%		0.6%	6 765	30	67
XJ05-4	73.0%	1.4%	2.2%	17.7%	19.1%	0.3%	2.3%	0.4%	837	0.0%	1.3%				0.7%	0.4%		156	36
XJ05-7	79.5%	1.2%	2.1%	12.0%	13.2%	0.9%	2.3%	0.5%	655	0.0%	0.4%			0.1%	0.5%	0.4%		112	34
XJ-20	62.5%	13.5%	11.7%	3.4%	17.0%	3.4%	2.6%	1.4%	363	0.1%					0.2%	1.2%		50	543
XJ05-1 Bk	56.0%	11.9%	7.1%	6.5%	19.2%	4.4%	5.6%	3.2%	411	0.3%	0.0%		1.6%	2.6%		0.7%		71	245
XJ05-1 W	58.0%	10.9%	6.5%	5.0%	17.4%	3.5%	4.2%	1.1%	192	0.6%			2.9%	6.2%		1.2%		44	159

C.5 新疆出土的汉代至元代的玻璃器皿残片样品[16]

表1 新疆出土的古代玻璃器皿残片样品信息列表

样品编号	颜色	年 代	出 土 地 点	样品编号	颜色	年 代	出 土 地 点
XJ-05-1	浅黄色	公元前2世纪至唐	巴楚县吐木秀克遗址	XJ-17-1	黄色		
XJ-05-6	绿色	公元前2世纪至唐	新和县大望库木遗址	XJ-17-6	浅绿色		
XJ-10	浅绿色	4—8世纪	策勒县达玛沟遗址	XJ-17-2	浅紫色		
XJ-9	深蓝色			XJ-17-7	深绿色	唐代	疏附县伯希克热木遗址
XJ-11	绿色和红色	4—8世纪	策勒县克希遗址	XJ-17-3	绿色		
XJ-12-1	浅绿色			XJ-17-4	黄色		
XJ-12-2	浅绿色	4—8世纪	和田买里克尕瓦提遗址	XJ-17-5	绿色		
XJ-12-3	浅黄绿色			XJ-17-8			
XJ-13-1	浅黄绿色			XJ-18-1	绿色	公元前2世纪至唐	和田皮山县
XJ-13-2	浅绿色	南北朝至唐	洛浦县喀拉克尔遗址	XJ-18-2	浅黄色		
XJ-13-3	浅紫色			XJ-19	蓝绿色	唐至宋	疏附县莫尔佛塔遗址
XJ-14-2	浅黄色			XJ-20-1	绿色		轮台县拉伊苏烽燧
XJ-14-1	湖蓝色			XJ-20-2	蓝色		
XJ-14-6	浅绿色	唐至北宋	和田买俄甫尔麻扎遗址	XJ-21	绿色		库车县托盖塔木城堡
XJ-14-3	绿色			XJ-22-1			
XJ-14-4	浅黄色			XJ-22-2	浅绿色	唐代	库车库木吐拉遗址
XJ-14-5	浅绿色			XJ-35	深蓝色		
XJ-15-4	浅绿色			XJ-24-1	浅绿色		和田拉伊喀乡吾加比俄木玛扎遗址
XJ-15-1	蓝色			XJ-24-2	黄色		
XJ-15-2	黄色	6—8世纪	柯坪县托木里克古城	XJ-25	浅黄色	6—8世纪	墨玉县布盖乌伊里克佛寺遗址
XJ-15-3	浅绿色			XJ-26			
XJ-15-5	黄色			XJ-28-1			
XJ-16-6	绿色			XJ-28-3	绿色	宋至元早期	若羌县瓦石峡遗址
XJ-16-1	深绿色			XJ-28-2			
XJ-16-2	黄绿色	6—8世纪	柯坪县穷梯木遗址	XJ-34	蓝绿色	南北朝至唐	库车县森姆塞姆石窟遗址
XJ-16-3	浅绿色			XJ-43-1	浅黄绿色		
XJ-16-4	黄绿色			XJ-43-2	浅黄色	汉至晋	和田安迪尔古城
XJ-16-7	绿色			XJ-43-3	浅黄色		
XJ-16-5	蓝色	6—8世纪	柯坪县穷梯木遗址				
XJ-16-8	蓝色						

表2 新疆出土的古代玻璃器皿残片样品化学成分

（%）

样品编号	方法	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_2	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	NiO	SrO	BaO	其他
XJ-05-1	pXRF	13.75	3.27	5.24	56.47	0.08	0.17	0.51	6.65	6.62	0.06			1.29	1.35	0.03	0.04	0.13	Rb_2O: 0.01
XJ-05-6	pXRF	18.67	4.67	1.65	59.69	0.12	0.18	0.82	4.26	7.29	0.03			0.06	1.04	0.02	0.03	0.00	
XJ-9	pXRF	15.83	4.37	2.13	57.49			0.84	2.46	7.76	0.11	0.24	0.03	0.10	1.45	0.05	0.06	0.09	CoO: 0.20, CuO: 0.19, PbO: 0.98
XJ-9	ICP-AES	17.41	4.48	3.23	60.36	0.05			2.75	7.76	0.17								
XJ-10	pXRF	12.53	4.54	1.19	66.56	0.33	0.09	1.02	1.83	8.15		0.45	0.05	0.06	0.63	0.03	0.06	0.07	
XJ-11-g	pXRF	19.54	0.51	8.47	53.34		0.03	1.24	2.46	2.43	0.21			0.05	2.10	0.03	0.01	0.09	CuO: 0.31, Rb_2O: 0.01
XJ-11-r	pXRF	15.30	0.66	7.77	51.26		0.06	0.67	2.89	2.16	0.20			0.05	1.94	0.02	0.01	0.14	CuO: 2.16, Rb_2O: 0.01
XJ-13-1	pXRF	12.17	3.71	2.25	59.21		0.22	0.57	6.91	5.89	0.03	0.46	0.05	0.05	0.49	0.02		0.15	
XJ-13-2	pXRF	16.00	4.16	3.20	62.79		0.21	0.57	6.21	7.74	0.15			1.04	1.12	0.03	0.05	0.15	Rb_2O: 0.01
XJ-13-3	pXRF	15.48	3.93	2.10	60.28	0.02	0.26	0.77	6.11	7.21	0.09			1.49	0.86	0.03	0.04	0.19	
XJ-14-6	pXRF	10.59	3.74	2.13	60.06		0.16	0.60	4.35	7.56	0.05	0.16	0.02	0.06	0.72	0.12	0.04	0.04	
XJ-14-3	pXRF	14.01	4.69	2.97	58.21		0.23	0.48	5.33	7.93	0.08	0.29	0.03	1.07	0.87	0.02	0.05	0.15	Rb_2O: 0.01
XJ-14-4	pXRF	14.32	4.16	3.96	56.31		0.20	0.54	4.80	8.04	0.10		0.00	1.09	1.12	0.02	0.04	0.10	Rb_2O: 0.01
XJ-14-5	pXRF	12.42	3.63	2.67	59.93		0.21	0.49	4.80	8.73	0.11	0.10	0.01	0.59	0.99	0.02	0.05	0.01	
XJ-15-1	pXRF	14.90	3.25	0.81	59.50		0.24	0.85	5.21	4.95	0.04	0.32	0.04	0.06	0.54	0.03	0.03	0.12	CuO: 2.62
XJ-15-2	pXRF	15.64	3.72	4.06	53.87		0.21	0.53	6.50	7.39	0.06	0.32	0.04	1.79	1.42	0.03	0.04	0.12	Rb_2O: 0.01
XJ-15-3	pXRF	9.94	4.77	1.58	68.68	0.34	0.17	0.48	3.62	5.55	0.08	0.17	0.02	0.04	0.70	0.02	0.03	0.13	
XJ-15-5	pXRF	15.72	3.27	4.03	53.73		0.20	0.54	6.62	7.33	0.08			1.85	1.42	0.03	0.04	0.08	Rb_2O: 0.01
XJ-16-6	pXRF	15.73	0.76	6.92	54.15		0.08	1.35	7.61	2.26	0.36			0.04	1.20	0.02		0.12	Rb_2O: 0.01
XJ-16-1	pXRF	16.34	0.68	7.82	60.33		0.04	1.13	10.89	2.48	0.41			1.22				0.19	
XJ-16-2	pXRF	18.91	0.66	6.54	53.12		0.06	1.15	7.47	2.15	0.37	0.13	0.02	0.04	1.14	0.03		0.04	Rb_2O: 0.01
XJ-16-3	pXRF	16.56	0.75	6.77	57.95		0.04	1.14	7.71	2.63	0.21		0.02	0.06	1.27	0.02	0.00	0.15	Rb_2O: 0.02
XJ-16-4	pXRF	16.75	0.89	7.65	56.41		0.04	1.10	8.02	3.38	0.37	0.13	0.01	0.05	1.19	0.03	0.01	0.21	Rb_2O: 0.01
XJ-16-7	pXRF	15.17	0.93	7.99	57.09		0.04	1.11	7.89	3.10	0.40			0.04	1.19	0.03	0.01	0.12	Rb_2O: 0.01

（续表）

样品编号	方法	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_2	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	NiO	SrO	BaO	其他
XJ-16-5	pXRF	14.42	3.83	0.91	61.44		0.16	1.01	2.50	7.00			0.01	0.22	0.54	0.03	0.06	0.05	CoO：0.09 CuO：0.02 PbO：0.13
XJ-16-8	pXRF	16.06	1.06	3.92	61.04		0.32	0.94	2.26	2.16	0.21	0.11	0.01	0.06	0.80	0.02	0.04	0.08	CuO：3.03 Rb_2O：0.01
XJ-17-1	pXRF	14.15	3.96	5.61	48.69		0.23	0.41	5.22	6.89	0.10			0.76	1.27	0.02	0.06	0.16	Rb_2O：0.01
XJ-17-2	pXRF	11.25	4.30	1.71	55.84		0.21	0.39	6.01	7.27	0.05	0.47	0.05	1.23	0.72	0.03	0.04	0.10	
XJ-17-7	pXRF	13.68	0.50	5.58	50.37		0.03	1.00	8.32	1.79	0.28				0.90	0.02		0.16	Rb_2O：0.01
XJ-17-3	pXRF	15.18	0.78	5.01	56.83		0.08	0.77	9.01	3.52	0.24	0.32	0.04		1.27	0.03	0.01	0.10	CuO：0.05
XJ-17-4	pXRF	14.02	3.84	3.09	54.47		0.21	0.51	5.42	7.47	0.04		0.02	0.94	1.12	0.02	0.04	0.07	CuO：0.15 Rb_2O：0.01
XJ-17-5	pXRF	14.35	4.94	2.89	50.27		0.21	0.50	4.38	7.54	0.02	0.18	0.02	0.06	0.98	0.02	0.05	0.07	CuO：0.02 Rb_2O：0.01
XJ-17-8	pXRF	14.24	0.91	7.27	57.47		0.04	1.02	8.21	3.25	0.37	0.12	0.01	0.05	1.41	0.02	0.00	0.02	Rb_2O：0.01
XJ-18-2	pXRF	14.25	4.14	1.67	58.38		0.19	0.64	6.01	6.38	0.04			0.51	0.53	0.02	0.02		
XJ-18-2	PIXE	6.89	3.96	5.71	69.28	0.44			5.15	6.21	0.13								
XJ-20-1	pXRF	8.68	3.65	2.85	58.84	0.25	0.13	0.76	3.40	10.56	0.06	0.22	0.02	0.05	1.34	0.02	0.05	0.03	
XJ-20-2	pXRF	12.52	3.14	2.37	57.69	0.23	0.37	1.08	3.17	10.77	0.06	0.37	0.04	0.07	1.31	0.04	0.07	0.09	
XJ-21	pXRF	22.51	4.93	1.64	56.08	0.07	0.36	0.51	4.46	9.39	0.02	0.01	0.00	0.05	1.01	0.02	0.05		
XJ-22-1	pXRF	11.93	4.68	1.33	64.43		0.14	0.88	2.10	8.04		0.16	0.02	0.06	0.61	0.03	0.06	0.28	
XJ-22-2	pXRF	13.84	4.69	0.83	61.27		0.14	0.85	2.08	8.29		0.54	0.06		0.57	0.02	0.06	0.13	
XJ-24-2	pXRF	13.36	4.15	4.85	55.03	0.00	0.21	0.52	4.73	8.02	0.08	0.27	0.03	0.84	1.03	0.02	0.05	0.16	Rb_2O：0.01
XJ-25	pXRF	19.79	0.63	1.98	66.29		0.16	1.61	0.45	5.92	0.03			0.28	0.75	0.03	0.07	0.21	
XJ-25	pXRF	19.35	0.7	2.15	69.75	0.07			0.5	6.15	0.1								
XJ-28-1	pXRF	13.44	2.69	5.22	57.24	0.47	0.08	0.70	4.63	7.09	0.10	0.32	0.04	0.05	1.28	0.02	0.04		Rb_2O：0.01
XJ-28-3	pXRF	13.84	2.72	5.29	56.96	0.21	0.00	0.00	4.60	8.10	0.11	0.04	0.01	0.05	1.33	0.02	0.05	0.08	Rb_2O：0.01
XJ-34	pXRF	15.39	3.73	2.45	57.73	0.28	0.20	0.59	4.05	7.48	0.09	0.04	0.01	0.07	1.62	0.02	0.03		CuO：0.01
XJ-35	pXRF	16.67	3.54	1.68	60.50		0.14	1.07	3.91	5.99	0.03			0.13	1.37	0.03	0.06	0.14	CoO：0.16 CuO：0.30 PbO：0.06
XJ-35	ICP-AES	16.19	3.56	2.21	66.67				3.79	5.94	0.08								
XJ-43-2	pXRF	16.47	3.17	0.67	62.54	0.08	0.10	1.09	3.39	8.26			0.03	0.05	0.62	0.02	0.08	0.06	

C.6 新疆克孜尔水库和碗泉墓地出土的古代玻璃[17]

新疆克孜尔水库墓地和碗泉墓地出土的古代玻璃珠饰样品化学成分

（%）

编号	颜色	墓葬编号	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CuO	SrO	Sb_2O_5	PbO	方法	类别
XJ-1A	蓝色	90BKKM26	20.25	5.77	0.69	60.25	0.99	2.81	6.80	0.03	0.08	0.67	1.18	0.09	0.22	0.17	pXRF	Ⅰa
XJ-1IA	蓝绿	90BKKM26	18.27	5.20	1.12	65.22		2.57	5.88	0.07	0.04	0.57	0.79			0.09	ICP-AES	Ⅰa
XJ-1C	蓝色	90BKKM26	10.06	4.32	1.70	70.90	0.67	1.89	6.08	0.15	0.67	1.01	2.01	0.06	0.39	0.07	pXRF	Ⅰa
XJ-1C	蓝色	90BKKM26	16.92	3.74	0.70	64.28	0.50	2.68	6.79	0.10	0.70	0.94	2.13	0.05	0.38	0.06	pXRF	Ⅰa
XJ-1C	浅黄	90BKKM26	1.61	5.57	1.21	65.79	0.50		18.39	0.09	0.07	0.71	0.17	0.04	0.53	5.37	pXRF	Ⅰb
XJ-1C	浅黄	90BKKM26	1.38	5.61	1.16	78.03	0.64	0.28	5.14	0.04	0.10	0.87	0.24	0.03	0.55	5.89	pXRF	Ⅰb
XJ-1D	绿色	90BKKM26	11.09	4.04	1.27	65.39	0.70	3.69	11.25	0.13	0.06	0.93	1.08	0.08	0.22	0.03	pXRF	Ⅰa
XJ-1E	绿色	90BKKM26	6.48	0.86	0.92	76.36	0.51		11.03	0.05	0.30	0.57	1.64	0.04	1.11	0.11	pXRF	Ⅰa
XJ-1E	黄色	90BKKM26	1.40	8.95		28.10	0.17		57.09		0.06	0.18	0.33	0.14	0.91	2.60	pXRF	Ⅰb
XJ-2A	浅黄	90BKKM26	13.19	4.51	1.38	63.24	0.57	2.11	9.90	0.13	0.06	1.22		0.04	0.45	3.14	pXRF	Ⅰb
XJ-2IA	浅黄	90BKKM26	11.54	5.02	1.99	67.14		1.59	8.88	0.02	0.04	1.03	0.01		0.72	1.93	ICP-AES	Ⅰb
XJ-2B	黄色	90BKKM26	12.88	3.30	0.71	64.50	0.50	2.09	5.06	0.03	0.04	1.19		0.01	0.75	8.91	pXRF	Ⅰb
XJ-2IB	黄色	90BKKM26	12.05	2.67	1.36	64.31		2.42	4.80	0.07	0.02	1.10		P_2O_5 0.34	1.60	9.01	ICP-AES	Ⅰb
XJ-2C	白色	90BKKM26	15.93	4.76	0.12	65.45	0.87	1.06	10.01		0.04	0.29		0.10	0.71	0.63	pXRF	Ⅰb
XJ-2C	黄色	90BKKM26	14.79	4.78	0.40	65.16	0.80	0.81	8.10		0.05	0.39		0.07	0.42	4.19	pXRF	Ⅰb
XJ-29A	蓝色	90BKKM26	16.97	3.84	0.68	66.20	1.18	2.69	5.22		0.04	0.74	2.07	0.02	0.22	0.09	pXRF	Ⅰa
XJ-29B	蓝色	90BKKM26	12.39	3.37	1.22	67.11	0.84	1.50	9.98	0.14	0.05	1.19	1.84	0.04	0.25	0.06	pXRF	Ⅰa
XJ-29C	蓝色	90BKKM26	15.28	4.45	1.62	64.73	0.92	1.82	7.12	0.21	0.05	1.43	2.02	0.05	0.22	0.07	pXRF	Ⅰa
XJ-3A	蓝色	90BKKM4	12.75	3.98	1.40	69.60	0.86	1.83	6.60	0.11	0.06	1.22	1.24	0.08	0.22	0.02	pXRF	Ⅰa
XJ-3IA	绿色	90BKKM4	15.27	3.66	1.44	68.06		2.93	6.65	0.13	0.03	0.86	0.76			0.02	ICP-AES	Ⅰa

（续表）

编　号	颜色	墓葬编号	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CuO	SrO	Sb_2O_5	PbO	方　法	类别
XJ-3B	蓝色	90BKKM4	17.93	3.75	0.42	63.67	1.14	1.93	8.41		0.04	0.61	1.77	0.07	0.21	0.03	pXRF	Ia
XJ-3IB	蓝色	90BKKM4	14.50	3.10	0.53	71.37		1.65	6.55	0.03	0.03	0.66	1.16			0.30	ICP-AES	Ia
XJ-4IA	绿色	90BKKM11	14.29	4.58	1.89	66.11		2.19	6.61	0.17	0.03	1.07	0.90		1.44	0.62	ICP-AES	Ia
XJ-4M	绿色	90BKKM11	10.05	3.76	1.40	69.54	0.79	1.55	7.75	0.11	0.06	1.34	1.71	0.04	1.82	0.17	pXRF	Ia
XJ-4M	黑色		6.64	3.57	2.38	73.43	1.02	0.94	7.19	0.23	0.05	1.93	0.10	0.04	1.33	1.11	pXRF	Ib
XJ-30M	蓝色	91BKKM3	9.02	5.54	1.11	70.78	0.50	1.38	8.64	0.11	0.08	0.83	1.65	0.04	0.23	0.08	pXRF	Ia
XJ-30I	蓝色	91BKKM3	9.08	3.35	1.43	75.44		1.51	7.74	0.11	0.02	0.34	0.56		0.03	0.02	ICP-AES	Ia
XJ-31M	蓝色	91BKKM27B	15.43	6.32	0.35	62.50	0.80	1.62	9.40	0.05	0.09	0.64	1.57	0.08	1.04	0.08	pXRF	Ia
XJ-33M	蓝色	91BKKM27	8.91	4.38	1.61	71.84	0.54	1.73	5.90	0.18	0.06	1.12	3.13	0.05	0.47	0.07	pXRF	Ia
XJ-33I	蓝色	91BKKM27	10.22	3.17	1.49	75.03		1.91	4.17	0.13	0.72	0.74	1.68	P_2O_5 0.32	0.28	0.03	ICP-AES	Ia
XJ05-9A	蓝色	92BKKM62	1.32	0.37	1.36	71.72	0.15	14.31	1.73	0.03	0.03	0.34	1.92	Rb_2O 0.01	SnO_2 6.56	0.006	pXRF pXRF	II
XJ05-9B	蓝色	92BKKM62	0.90	0.55	2.13	73.51	0.18	12.84	1.62	0.05	0.04	0.38	1.78	Rb_2O 0.009	SnO_2 5.82	0.004	pXRF pXRF	II
XJ05-10	蓝色	92BKKM60	1.56	8.39	0.63	82.13	0.52	0.15	3.58	0.20	0.09	0.74	1.61	0.06	0.29		pXRF	Ia
XJ05-11	蓝色	92BKKM75	7.07	6.01	1.45	73.87	0.59	1.79	5.92	0.65	0.05	1.02	1.28	0.05	0.22	0.02	pXRF	Ia
XJ05-12	蓝色	92BKKM61	1.70	4.32	1.51	80.28	0.45	0.07	7.01	0.14	0.17	1.10	2.82	0.05	0.24	0.11	pXRF	Ia
XJ05-12	蓝色	92BKKM61	1.90	4.40	1.64	80.82	0.44	0.08	6.18	0.16	0.16	1.12	2.71	0.05	0.23	0.10	pXRF	Ia
XJ-44M	黄色	碗泉墓地 M1	8.40	2.95	1.36	69.66	0.46	0.86	9.82	0.06	0.04	0.84		0.01	0.64	4.88	pXRF	Ib
XJ-44Q	蓝色		18.86	4.63	0.67	62.16	1.03	2.27	7.29		0.13	0.82	1.79	0.05	0.21	0.05	pXRF	Ia
XJ-44R	蓝色		14.16	6.46	0.67	63.73	1.36	1.65	9.55	0.05	0.06	0.72	1.25	0.06	0.22	0.06	pXRF	Ia
XJ-44I	蓝色		15.93	4.03	0.87	68.88		2.20	6.11	0.04	0.08	0.56	1.10		0.01	0.02	ICP-AES	Ia

C.7 江苏盱眙大云山出土的风化较少地方玻璃磬的化学成分

江苏盱眙大云山出土的风化较少地方玻璃磬的化学成分 (%)

系列编号	样品编号	SiO_2	Al_2O_3	PbO	BaO	P_2O_5	Fe_2O_3	CuO	CaO	MnO	ZnO	SrO	SnO_2	NiO	Cl
1	M1：3918-3	51.43	3.02	28.23	13.90	0.51	0.11	0.06	0.55	0.38	0.02	0.04		0.05	1.71
2	M1：3918-12	40.01	1.67	33.70	15.71	0.58	0.07	0.03	5.73	0.44	0.02	0.04		0.09	1.91
3	M1：3918-13	47.11	3.48	29.55	13.53	0.56	0.28	0.04	4.19	0.38	0.02	0.03	0.01	0.05	0.76
4	M1：3918-14	42.51	2.20	31.40	14.94	0.50	0.15	0.03	6.05	0.43	0.02	0.04		0.05	1.68
5	M1：3918-2	46.12	1.81	30.18	14.15	0.52	0.10	0.03	4.71	0.42	0.02	0.04	0.01	0.06	1.83
6	M1：3918-22	35.43	1.77	43.44	10.98	1.32	0.40	0.04	3.95	0.39	0.03	0.06	0.02	0.04	2.11
7	M1：3918-17	45.16	2.24	31.82	14.31	0.50	0.14	0.03	3.78	0.43	0.02	0.04		0.04	1.48
8	M1：3918-18	44.13	3.61	35.51	13.81	0.75	0.42	0.38	0.54	0.34	0.03	0.04		0.03	0.41
9	M1：3918-4	55.35	2.92	26.86	12.71	0.40	0.16	0.05	0.27	0.34	0.02	0.03		0.03	0.85
10	M1：3918-5	47.73	2.17	30.15	15.34	0.66	0.11	0.04	1.39	0.42	0.03	0.04		0.04	1.88
12	M1：3918-7	44.35	1.70	28.75	15.34	0.64	0.12	0.03	6.69	0.37	0.01	0.04	0.02	0.03	1.91
13	M1：3918-6	53.06	2.34	28.90	13.00	0.82	0.25	0.03		0.37	0.02	0.04		0.05	1.12
14	M1：3918-11	51.41	1.30	29.23	13.81	0.61	0.12	0.03	1.12	0.39	0.02	0.04		0.04	1.88
15	M1：3918-20	55.05	3.29	27.10	12.46	0.44	0.17	0.05		0.35	0.02	0.03		0.05	0.98
16	M1：3918-15	55.38	2.18	28.03	12.26	0.53	0.08	0.01		0.32	0.02	0.03	0.02	0.04	1.11
16	M1：3918-15	48.21	3.28	30.56	13.94	0.69	0.26	0.08	1.70	0.33	0.04	0.03		0.05	0.85
17	M1：3918-16	42.79	1.54	32.27	14.77	0.58	0.10	0.01	5.54	0.44	0.02	0.04		0.06	1.83
18	M1：3918-19	34.27	2.59	45.29	15.46	0.88	0.23	0.15	0.27	0.34	0.04	0.02		0.03	0.43
19	M1：3918-9	44.79	1.28	32.53	14.83	0.73	0.12	0.03	3.15	0.41	0.02	0.04		0.05	2.01
19	M1：3918-9	56.86	1.82	26.48	12.06	0.48	0.06	0.02		0.32	0.02	0.04		0.04	1.81
20	M1：3918-8	41.66	1.18	33.74	15.88	0.73	0.05	0.04	3.88	0.47	0.02	0.04	0.02	0.05	2.23
21	M1：3918-21	52.63	2.93	28.87	13.14	0.46	0.28	0.07	0.40	0.32	0.02	0.03		0.04	0.81
22	M1：3918-10	63.60	1.88	22.26	8.39	1.84	0.50	0.03	0.53	0.20	0.02	0.01		0.04	0.68
	平均值	47.78	2.27	31.08	13.68	0.68	0.19	0.06	2.37	0.37	0.02	0.04	0.00	0.05	1.40

C.8 彩色陶釉的半定量分析(大气中测量)结果

风化较少地方玻璃磬的化学成分

编号	区 域	%													P($\times 10^{-6}$)
		Al_2O_3	SiO_2	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	Fe_2O_3	CuO	ZnO	BaO	PbO	
1	蓝色	7.35	63.58	—	0.17	6.21	4.57	—	0.09	0.64	4.26		6.30	6.78	
2	蓝色	11.56	61.79	—	0.12	5.43	1.84	—	0.03	3.29	1.70		3.84	10.37	
3	底部棕色		36.86	7.44		1.23	13.41	3.78	0.01	35.07			1.47	0.74	239
4	白色		2.33	29.83			41.29	25.74		0.62		0.04	0.77	0.04	1 754
5	底部、灰色1	5.52	52.34	—		0.44	8.79	—	0.21	2.03		0.05	5.86	24.59	
6	底部、灰色		8.43	24.36			34.39	32.82		1.07			0.34	88×10^{-6}	1 596
7	头部、白-棕色	7.73	46.91	—	0.18	0.22	4.63	—		8.20	0.07	0.03	5.56	26.49	

参考文献

[1] 干福熹.中国南方古玻璃研究：2002年南宁中国南方古玻璃研讨会论文集[M].上海：上海科学技术出版社，2003.

[2] 李飞，李青会，干福熹，等.一批中国古玻璃化学成分的质子激发X射线荧光分析[J].硅酸盐学报，2005，33（5）：581–586.

[3] 李飞，李青会，干福熹，等.四川地区出土古玻璃的质子激发荧光分析[J].核技术，2007，30（2）：119–124.

[4] 李青会，顾冬红，干福熹，等.扬州西汉墓出土古玻璃的质子激发X荧光分析[J].核技术，2003（12）：921–925.

[5] 干福熹，李青会，顾冬红，等.新疆拜城和塔城出土的早期玻璃珠的研究[J].硅酸盐学报，2003，31（7）：363–367.

[6] 干福熹，承焕生，胡永庆，等.河南淅川徐家岭出土的中国最早的蜻蜓眼玻璃珠的研究[J].中国科学：E辑 技术科学，2009，39（4）：787–792.

[7] 干福熹，赵虹霞，李青会，等.湖北省出土战国玻璃制品的科技分析与研究[J].江汉考古，2010（2）：2，110–118，153.

[8] 董俊卿，李青会，干福熹，等.一批河南出土的东周至宋代玻璃器的无损分析[J].中国材料进展，2012，31（11）：9–15.

[9] 李青会，董俊卿，赵虹霞，等.浅议中国出土的汉代玻璃耳珰[J].广西民族大学学报：自然科学版，2011，17（1）：17–25.

[10] 李青会，黄教珍，李飞，等.中国出土的一批战国古玻璃样品化学成分的检测[J].文物保护与考古科学，2006，18（2）：8–13.

[11] 李青会，周虹志，黄教珍，等.一批中国古代镶嵌玻璃珠化学成分的检测报告[J].江汉考古，2005（4）：79–93.

[12] 李青会，董俊卿，苏伯民，等.湖北荆州出土战国玻璃珠的pXRF无损分析及相关问题研究[J].敦煌研究，2013（1）：90–97.

[13] Liu Song, et al. Application of a portable XRF spectrometer for classification of potash glass beads unearthed from tombs of Han Dynasty in Guangxi, China[J]. X-Ray Spectrometry, 2013, 42（6）: 470–479.

[14] Liu Song, Li Qinghui, Gan Fuxi. Chemical analyses of potash-lime silicate glass artifacts from the Warring States Period in China[J]. Spectroscopy Letters, 2014, 48（4）: 302–309.

[15] Liu Song, Li Qinghui, Gan Fuxi, et al. Silk road glass in Xinjiang, China: chemical compositional analysis and interpretation using a high-resolution portable XRF spectrometer[J]. Journal of Archaeological Science, 2012（39）: 2128–2142.

[16] Liu Song, Li Qinghui, Gan Fuxi, et al. Characterization of some ancient glass vessels fragments found in Xinjiang, China, using a portable energy dispersive XRF pectrometer[J]. X-Ray Spectrometry, 2011（40）: 364–375.

[17] Li Qinghui, Liu Song, Zhao Hongxia, et al. Characterization of some ancient glass beads unearthed from the Kizil reservoir and Wanquan cemeteries in Xinjiang, China[J]. Archaeometry, 2014, 56（4）: 601–624.

[General Information]
书名=中国古代玻璃技术发展史
作者=干福熹等著
页数=348
SS号=13954366
DX号=
出版日期=2016.01
出版社=上海科学技术出版社